



ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ СИБИРИ

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 6С
2017

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

Редакционная коллегия

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

Редакционный совет

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

Редакция

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

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

Содержание

Региональная геология, стратиграфия, тектоника

И. В. Будников, В. П. Девятов, С. С. Сухов. Стратиграфия – главнейшее направление научных исследований СНИИГГиМС 4
Г. А. Бабин, С. П. Шокальский. Основные черты геологического строения Алтае-Саянской складчатой области (тектоническое районирование, стратиграфия, магматизм, история геологического развития) 19

Нефтегазовая геология

И. Ф. Талипов, М. Ю. Смирнов, В. В. Сапьяник. Состояние и перспективы освоения ресурсного потенциала Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции 38
А. И. Варламов, А. А. Герт, П. Н. Мельников, А. С. Ефимов, М. Ю. Смирнов, Е. В. Смирнов. Состояние сырьевой базы и перспективы наращивания объемов добычи в рамках «Программы ВСТО» 48
В. С. Старосельцев. Историко-тектонические предпосылки нефтегазоносности Сибирской платформы 68
Л. М. Дорогоницкая, О. В. Шиганова. Концептуальные, методические и процедурные вопросы обработки материалов параметрического бурения на малоизученных территориях Восточной Сибири 80

Минералогия, рудные и нерудные полезные ископаемые

А. И. Черных, Г. А. Бабин, С. Г. Мишенин, О. В. Мурзин, А. Ю. Широбоков, Е. В. Ветров. Основные результаты работ на твердые полезные ископаемые и по государственному геологическому картированию АО «СНИИГГиМС» в 2007–2016 гг. 93
В. В. Жабин. Высокоглиноземистые формации докембрия Средней Сибири и перспективы бокситоносности 102
Ю. И. Лоскутов. Палеогеография Якутской алмазоносной провинции в кайнозое 110
Г. Н. Черкасов. Перспективы поисков глиноземного сырья, золота и алмазов на севере Енисейского кряжа в междуречье Чапы – Тырады (Красноярский край) 119
С. С. Долгушин, В. В. Жабин, И. Ю. Лоскутов, О. Г. Садур. База хромового сырья Сибири (в пределах Сибирского федерального округа) 127

Геофизика, геофизическое приборостроение

В. В. Филатов. О некоторых проблемах феноменологического подхода в теории электромагнитного поля в пористых флюидонасыщенных средах 139
Д. И. Рудницкая, М. В. Корнилов, Е. В. Мосягин. Технология и результаты сейсмотектонического анализа при выделении и оценке кинематики глубинных разломов земной коры (на примере геотраверса 1-СБ в Забайкалье) 147

Экономика и управление

Р. Т. Мамахатова. Методическое обеспечение оценки эффективности изучения и освоения ресурсной базы твердых полезных ископаемых Сибирского федерального округа 156

Гипотезы и дискуссионные материалы

В. В. Сапьяник. Палеоэкологическая концепция в геологических реконструкциях 163

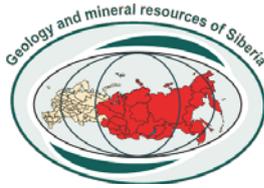
Страницы истории

В. С. Старосельцев. СНИИГГиМС в Австралии 180

Персоналии

Невосполнимая потеря 185
Наши авторы 188

ISSN 2078-0575



GEOLOGY AND MINERAL RESOURCES OF SIBERIA

QUARTERLY SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

NGS
2017

Editor
DSc A.I. Varlamov

Editorial board:

Smirnov M. Yu., PhD (senior associated editor)
Svinyin V. F. (executive editor)
Brekhtunsov A. M., DSc (Tyumen)
Gert A. A., DSc (Novosibirsk)
Goloshubin G., DSc, prof. (Houston, USA)
Dobretsov N. L., acad. RAS (Novosibirsk)
Evtushenko V. M., PhD (Novosibirsk)
Kamenetskij F., prof. (Munich, Germany)
Kontorovich A. E., acad. RAS (Novosibirsk)
Kuleshov V. V., acad. RAS (Novosibirsk)
Melnikov N. V., DSc (Novosibirsk)
Nikolaev A. V., corr. memb. RAS (Moscow)
Pokhilenko N. P., acad. RAS (Novosibirsk)
Ptitsyn A. B., DSc (Chita)
Sejful'-Mulyukov R. B., DSc, prof. (Moscow)
Staroseltsev V. S., DSc, prof., senior associated editor (Novosibirsk)
Trigubovich G. M., DSc, prof., senior associated editor (Novosibirsk)
Shevtchenko A. A., PhD, executive secretary (Novosibirsk)
Eпов M. I., acad. RAS (Novosibirsk)

Editorial council:

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

Editorial staff

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

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

Content

Regional Geology, Stratigraphy, Tectonics

I. V. Budnikov, V. P. Devyatov, S. S. Sukhov. Stratigraphy as a major trend of scientific research at SNIIGGiMS 4
G. A. Babin, S. P. Shokalsky. Major geological features of the Altai-Sayan Folded Region (tectonic zoning, stratigraphy, magmatism, geological evolution) 19

Petroleum Geology

I. F. Talipov, M. Yu. Smirnov, V. V. Sapyanik. State and prospects of the resource potential development of the West-Siberian Petroleum Province 38
A. I. Varlamov, A. A. Gert, P. N. Melnikov, A. S. Efimov, M. Yu. Smirnov, E. V. Smirnov. State of the mineral resource base and prospects for Increasing production volumes under the ESPO Programme 48
V. S. Staroseltsev. Tectonic evolution background of oil and gas occurrence in the Siberian Platform 68
L. M. Doroginitskaya, O. V. Shiganova. Conceptual, methodical, and procedural issues of parametric drilling data processing from poorly explored territories of East Siberia 80

Minerogenesis, ore and non-metallic mineral resources

A. I. Chernykh, G. A. Babin, S. G. Mishenin, O. V. Murzin, A. Yu. Shirobokov, E. V. Vetrov. Main results of work on hard mineral resources and state geological mapping at SNIIGGiMS for 2007–2016 93
V. V. Zhabin. High alumina Pre-Cambrian Formations of Middle Siberia 102
Yu. I. Loskutov. Paleogeography of the Yakut Diamondiferous Province in the Cenozoic Era 110
G. N. Cherkasov. Prospects for alumina, gold, and diamonds searching in the Chapa – Tyrada Interstream area in the north of the Yenisei Ridge (Krasnoyarsk territory) 119
S. S. Dolgushin, V. V. Zhabin, I. Yu. Loskutov, O. G. Sadur. Chrome resource base of Siberia (within the Siberian Federal District) 127

Geophysics, Geophysical Industry

V. V. Filatov. Some problems of the phenomenological approach in the theory of electromagnetic field in a porous medium saturated with fluids 139
D. I. Rudnitskaya, M. V. Kornilov, E. V. Mosyagin. Technology and results of seismotectonic analysis when identifying and estimating traveltime characteristics of deep faults in the Earth's crust: the case of geotraverse 1-SB in Transbaikal 147

Economics and Management

R. T. Mamakhatova. Methods to estimate the efficiency of survey and development of the solid mineral resource base in the Siberian Federal District 156

Controversial Issues and Hypotheses

V. V. Sapyanik. Paleoecosystem concept in geological reconstructions 163

Pages of Our History

V. S. Staroseltsev. SNIIGGiMS in Australia 180

Personalia

Irreplaceable loss 185
Our authors 190

ISSN 2078-0575



Уважаемые коллеги!

Этот номер журнала выходит в канун 60-летия одного из самых заслуженных геологических институтов Советского Союза и России – СНИИГГиМС.

Образованный приказом Министерства геологии и охраны недр СССР в 1957 г., в эпоху развертывания масштабных нефтегазопроисловых работ в Сибири, институт смог стать главным геологическим центром министерства в азиатской части России не только по углеводородному сырью, но и по твердым полезным ископаемым.

В институте в разные годы функционировали передовые для своего времени научные школы: проф. В. П. Казаринова, проф. В. И. Бгатова, акад. В. С. Суркова и др.

На различных этапах геологического изучения сибирских недр ученые института своевременно формировали целевые задачи и обеспечивали развитие актуальных направлений. Примерами могут служить «Комплексные регионально-геологические и палеонтологические биостратиграфические работы территорий Сибирской платформы с целью прогноза их нефтегазоносности» (Л. Л. Халфин, С. В. Сухов, С. Н. Микуцкий и др.); «Комплексные литологические и лабораторно-аналитические исследования» (В. П. Казаринов, Т. И. Гурова, Г. Н. Перозии и др.); «Прогнозно-нефтепоисковые и геохимические исследования» (акад. В. С. Сурков, проф. Ф. Г. Гурари, акад. А. Э. Конторович, д. г.-м. н., проф. В. С. Старосельцев); «Комплексные стратиграфические, литолого-фациальные исследования по прогнозу развития кембрийских рифовых систем Восточной Сибири и их нефтегазоносности» (д. г.-м. н. В. Е. Савицкий, к. г.-м. н. В. А. Асташкин, Ю. Я. Шабанов и др.).

Огромный авторитет ученые СНИИГГиМС имели в области твердых полезных ископаемых: д. г.-м. н., проф. Н. Н. Амшинский, к. г.-м. н. Э. Г. Кассандров, д. г.-м. н. Н. А. Лизалек и мн. др.

В лучшие годы института на полевые работы в различные регионы Сибири и Дальнего Востока ежегодно выезжало более 120 полевых отрядов, что позволяло ежегодно собирать огромные массивы фактического материала по геологическому строению нефтегазоперспективных комплексов верхнего докембрия, кембрия, ордовика и других систем палеозоя и мезозоя.

В то же время добывались интереснейшие данные по рудоносности многих рудных районов и строению сложнейших метаморфологических комплексов.

Сейчас геологическая отрасль переживает не лучшие времена. Государство существенно снизило финансирование геолого-разведочных работ, практически не финансирует научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки.

Это резко негативно сказывается на научном потенциале институтов и других предприятий и учреждений. Следовательно, в данной ситуации очень важно мобилизовать все силы для сохранения потенциала института, занять активную позицию, направляя в вышестоящие профильные организации конструктивные предложения по повышению эффективности геолого-разведочных работ, их научно-методическому обеспечению и совершенствованию организационных форм.

Я желаю всему коллективу СНИИГГиМС дожить до лучших времен, а руководству института – взвешенных и мудрых решений, энергии и твердости в отстаивании интересов предприятия и обеспечения достойной работы и достойной зарплаты.

Еще раз поздравляю вас с 60-летием и желаю всего самого доброго!

С праздником, дорогие друзья!

А. И. Варламов, главный редактор



УДК 551.7.03+56(571.5)

СТРАТИГРАФИЯ – ГЛАВНЕЙШЕЕ НАПРАВЛЕНИЕ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СНИИГГиМС

И. В. Будников, В. П. Девятков, С. С. Сухов

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

Приведены наиболее значимые этапы развития палеонтолого-стратиграфических исследований в СНИИГГиМС. За более чем пятидесятилетний период СибРМСК подготовлены региональные стратиграфические схемы докембрия и фанерозоя Сибири нескольких поколений, являющиеся основой (фундаментом) геолого-съёмочных и поисково-разведочных работ. Резкое сокращение государственного финансирования в 1990-е гг. обескровило геологическую отрасль, научно-методический уровень региональных работ упал, снизились требования к качеству материалов, на фоне перестройки структуры геологической службы нарушена иерархия этапов создания, апробации и внедрения основных стратиграфических построений в практику геолого-разведочных работ. Утвержденные МСК стратиграфические схемы по ряду временных срезов не пересматривались уже более 35 лет, но за последние четыре года было рассмотрено и утверждено Бюро МСК шестнадцать региональных схем. Планируется их издание. Необходимо скорейшее создание региональных стратиграфических схем нового поколения, в первую очередь верхнего докембрия – кембрия внутренних районов Сибирской платформы. Повышение качества стратиграфической основы невозможно без совершенствования методики стратиграфических исследований. Перспективным является путь более тесной интеграции с седиментологическим анализом, с реконструкцией эволюции целых осадочных палеобассейнов и с моделированием протекавших в них процессов.

Ключевые слова: Сибирь, стратиграфическая схема, палеонтология, стратиграфия, седиментология, фанерозой, седиментационный бассейн, палеозой, мезозой, система, отдел.

STRATIGRAPHY AS A MAJOR TREND OF SCIENTIFIC RESEARCH AT SNIIGGIMS

I. V. Budnikov, V. P. Devyatov, S. S. Sukhov

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

The paper describes the most meaningful stages of developing paleontological and stratigraphic research at SNIIGGIMS. For more than 50 years, SibRISC has developed regional pre-Cambrian and Phanerozoic stratigraphic charts of Siberia of several generations, which form the basis of geological prospecting and exploration. A dramatic reduction in public financing in 1990s depleted the geological industry; the scientific and methodological quality of regional works decreased; the requirements to the quality of data became less strict; changes in the structure of the Geological Service resulted in disarrangement of the hierarchy of stages of creation, testing, and introduction of the main stratigraphic models in geological prospecting. The stratigraphic charts of a number of time sections, approved by ICS, have not been revised for more than 35 years, but the ICS Bureau has discussed and approved 16 regional charts for the recent four years. These charts are planned to be published. The new-generation regional stratigraphic charts need to be published as soon as possible, this primarily concerns the Upper pre-Cambrian and Cambrian charts of the Siberian Platform interiors. It is impossible to improve the quality of stratigraphic framework without improving the methods of stratigraphic research. More intense integration with sedimentological analysis, with reconstructing the evolution of entire sedimentary paleobasins, and with modelling of processes occurred therein is a promising way.

Keywords: Siberia, stratigraphic chart, paleontology, stratigraphy, sedimentology, Phanerozoic, sedimentary basin, Paleozoic, Mesozoic, system, series.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6с-4-18

Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, созданный в 1957 г., является преемником первого за Уралом научно-исследовательского геологического учреждения – Сибирского филиала ВНИГРИ, организованного в Томске в 1951 г.

С самого начала одним из главнейших научных направлений института стала разработка стратиграфической основы для успешного проведения различных геологических, и в первую очередь нефтегазопроисловых, работ на территории Сибири. Эта ориентация сохраняется до сих пор. В отделе стра-

тиграфии и палеонтологии с первых лет его образования ведутся планомерные исследования докембрийских и фанерозойских отложений Алтае-Саянской складчатой области, Западно-Сибирской плиты и Сибирской платформы.

В целях повышения эффективности и координации стратиграфических исследований, проводимых как научными, так и производственными организациями Сибири, в 1968 г. при СНИИГГиМС в качестве структурного подразделения института и одновременно Межведомственного стратиграфического комитета (МСК) была организована Сибир-



ская региональная межведомственная стратиграфическая комиссия (СибРМСК) под председательством заслуженного деятеля науки РСФСР Л. Л. Халфина. В 1973 г. его сменил В. Е. Савицкий, а с 1981 по 2004 г. комиссией руководил заслуженный геолог РСФСР Ф. Г. Гурари, преемником которого стал И. В. Будников. Первоначально комиссия насчитывала 74 члена из 20 организаций. В настоящее время в работе ее 11 секций заняты 173 специалиста из 42 геологических организаций Сибири, в том числе 75 сотрудников СНИИГГиМС и ИНГГ СО РАН (22 из них – члены бюро СибРМСК).

Территория деятельности СибРМСК, покрывающая почти половину России – от Урала до Верхоянья, имеет исключительное значение для ресурсообеспечения страны: здесь расположены крупнейшие Западно-Сибирская и Лено-Тунгусская нефтегазоносные провинции, угленосные бассейны и рудоносные области. Для обеспечения стратиграфической основой проводимых здесь поисковых и разведочных работ СибРМСК уже почти полвека организует межведомственные и рабочие стратиграфические совещания по подготовке стратиграфических схем, обязательных для использования в геологической практике.

Более половины сотрудников отдела стратиграфии и палеонтологии являются членами СибРМСК.

С первых лет работы СибРМСК были налажены тесные контакты с геолого-съёмочными экспедициями и научно-техническими советами геологических управлений и объединений, с Сибирским филиалом научно-редакционного совета ВСЕГЕИ при СНИИГГиМС. За время своей деятельности комиссия провела пять пленумов, более четырехсот заседаний, множество палеонтологических коллоквиумов.

На первом пленуме СибРМСК в марте 1969 г. были намечены главные ориентиры работы: координация усилий различных организаций, коллегиальное решение наиболее важных и сложных проблем, изучение опорных разрезов, широкий обмен опытом. Была подчеркнута необходимость свободной дискуссии по вопросам стратиграфической классификации, имеющей прямое практическое значение.

Пик активности стратиграфических исследований в СНИИГГиМСе пришелся на 1960–1970-е гг. В это время были организованы работы по изучению опорных разрезов фанерозоя Сибири, опубликован целый ряд фундаментальных коллективных работ, в том числе «Опорный разрез неокома Западной Сибири в Приполярном Зауралье» [7] и «Опорный разрез неокома севера Средней Сибири» (в двух томах) [11], что позволило уточнить, детализировать и увязать две региональные схемы стратиграфии севера Сибири и более обоснованно подойти к расчленению мезозоя закрытых территорий Западной Сибири.

В эти годы началось целенаправленное изучение фациальной зональности кембрийских отложений Сибирской платформы. Выделены три фа-

циальных региона: Турухано-Иркутско-Олекминский, Анабаро-Синский и Юдомо-Оленекский. Особое внимание было обращено на рифовые образования Анабаро-Синского фациального региона как потенциально перспективный объект для поисков залежей углеводородов. Их благоприятная позиция обуславливалась сопряженностью с одновозрастной доманикоидной нефтепроизводящей куонамской формацией, широко распространенной на востоке Сибирской платформы. К середине 1970-х гг. стало очевидно, что решение стратиграфических задач невозможно без реконструкции всего осадочного бассейна и условий накопления осадочных тел в его пределах. В результате выполненных работ выявлены основные закономерности в развитии палеогеографии региона, разработана седиментационно-генетическая модель формирования рифового комплекса.

В это же время были решены многие проблемы стратиграфии докембрия и фанерозоя Алтае-Саянской складчатой области, установлены все отделы кембрийской системы. Важнейшее значение имела разработка стратиграфической основы палеозоя Западной Сибири [1–3].

С середины 1970-х гг. наряду с лито- и биостратиграфическими в отделе проводились исследования по палеобиогеографии, палеобиофациям, палеоландштафтам, палеоклиматам. Результаты этих работ обобщены в ряде крупных монографий.

1970–1980-е гг. можно назвать золотым веком геологии, когда в результате масштабного бурения скважин на закрытых территориях Сибири и широкого разворота геолого-съёмочных и поисково-разведочных работ на различные виды полезных ископаемых было получено много новых данных. Проведение этих работ потребовало создания обновленной стратиграфической основы. В ноябре 1978 г. в Новосибирске на базе СНИИГГиМС и ИГиГ СО АН СССР прошло крупнейшее 3-е Межведомственное региональное стратиграфическое совещание по мезозою и кайнозою Средней Сибири, на котором были рассмотрены и приняты региональные стратиграфические схемы мезозоя различных районов Сибири [16]. Впервые разрезы были практически полностью расчленены на местные стратиграфические подразделения. Через год на Всесоюзном совещании по разработке унифицированных стратиграфических схем докембрия, палеозоя и четвертичной системы Средней Сибири были рассмотрены региональные стратиграфические схемы. В 1981 г. их утвердил МСК СССР. Решения указанных совещаний изданы в начале 1980-х гг. [16, 19]. На многие годы они стали для геологов Сибири основным стратиграфическим документом. Огромная коллегиальная работа по созданию этих схем осуществлена коллективом специалистов из различных научных и производственных организаций, а также высших учебных заведений Сибири, Москвы и Ленинграда по инициативе и под руководством СибРМСК.



По целому ряду причин опубликованные более трех десятилетий назад схемы до сих пор используются в практике производственных организаций Сибири и в тематических исследованиях научно-исследовательских организаций, хотя новые материалы, полученные с тех пор в процессе проведения ГРП, во всех без исключения регионах требуют обобщения, учета и включения в схемы нового поколения.

Исследования в области конкретных направлений стратиграфии, в частности в изучении осадочных толщ нефтегазоносных и рудоносных провинций, достигли того рубежа, на уровне которого решение насущных проблем возможно лишь с помощью привлечения теоретических разработок и методики комплексного стратиграфо-генетического анализа целых осадочных бассейнов.

В этот анализ как неперенные атрибуты или составные компоненты входят: детальные литолого-фациальные и седиментологические исследования; структурно-фациальное районирование и типизация разрезов на генетической основе; корреляция разнофациальных отложений; региональная и глобальная корреляция; разработка историко-геологической трактовки выделения подразделений Общей стратиграфической шкалы как единиц, обусловленных седиментацией во взаимосвязанных осадочных палеобассейнах; установление несогласий и скрытых перерывов в разрезах; датировка немых толщ и многое другое.

Цель этих исследований – историко-генетические реконструкции строения осадочных толщ, включающие выявление пространственно-временной вещественной структуры региона и одновременное создание моделей развития осадочных бассейнов. Именно такую комплексную направленность имеют работы, ведущиеся в отделе стратиграфии и палеонтологии и в других подразделениях СНИИГГиМС.

Интенсивное развитие геолого-разведочных и геолого-поисковых работ, связанных с поисками углеводородного сырья и других полезных ископаемых, обусловило концентрацию внимания СибРМСК на дальнейшем совершенствовании и детализации региональной стратиграфической основы. Особое внимание при этом уделялось разработке стратиграфических схем венд-кембрийских отложений внутренних районов Сибирской платформы. Обилие новых данных по закрытым территориям повлекло за собой изменение представлений о пространственно-временном распространении осадочных толщ позднего докембрия и кембрия указанных районов. В связи с этим в 1986 г. под эгидой СибРМСК проведена серия рабочих совещаний в Новосибирске (18–20 февраля), Якутске (22–24 апреля), Красноярске (12–13 мая), Иркутске (15–16 мая). На них для различных районов юго-запада Сибирской платформы обсуждались корреляционные построения по данным ГИС и результатам изучения керн, а также макеты стратиграфических схем, которые вскоре

были рассмотрены и приняты на итоговом МРСС по венду и кембрию внутренних районов Сибирской платформы (12–15 ноября 1986 г., Новосибирск). Эти схемы утверждены на расширенном заседании бюро МСК 27 января 1988 г. в Баку и опубликованы вместе с объяснительными записками в ноябре 1989 г. [17].

Не ослабевала деятельность СибРМСК и в легкие для страны 1990-е гг. В апреле 1990 г. в Тюмени (ЗапСибНИГНИ) состоялось МРСС по палеозою и мезозою Западной Сибири. В марте 1993 г. в Новокузнецке прошло рабочее совещание по стратиграфии верхнепалеозойских отложений Кузбасса. Одним из результатов этого совещания, помимо обновленной стратиграфической схемы, стал двухтомник научных трудов, посвященный ключевым вопросам стратиграфии верхнего палеозоя Сибири [8]. СибРМСК 23–25 ноября 1998 г. провела в Новосибирске Межведомственное совещание по рассмотрению региональной стратиграфической схемы палеозоя Западно-Сибирской равнины [21] – первой официальной схемы палеозойского этажа данной территории (утверждена МСК в 1999 г.). В ноябре 1999 г. в Тюмени проведено совещание по схеме плиоцен-четвертичных отложений Западно-Сибирской равнины, которая вскоре была утверждена МСК.

Силами ОИГГиМС СО РАН и СНИИГГиМС в канун XXI в. был начат выпуск серии монографий по системам под общим наименованием «Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири». Первый выпуск, посвященный юрской системе, вышел в свет в 2000 г. [22]. Значительная работа была проведена СибРМСК и в 2001 г., когда были изданы стратиграфические схемы по палеогену и неогену Западной Сибири

В Красноярске (КНИИГГиМС) 21–22 мая 2001 г. проведено рабочее совещание по стратиграфии и нефтегазоносности венда – верхнего рифея юго-западной части Сибирской платформы, а 13–15 июня – по кварталу Тюменской области в Тюмени на базе ЗапСибНВЦ. В августе – сентябре 2001 г. члены секции по кембрию приняли участие в VII Международной полевой конференции рабочей группы по ярусному расчленению кембрия в Южном Китае.

В СНИИГГиМС 14–16 октября 2003 г. состоялось МРСС по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири, на котором были обсуждены корреляционные региональные стратиграфические схемы триаса, юры и мела. Значительно уточнено районирование триасовых отложений, осуществлен переход от районирования юрских отложений по типам разрезов на фациальное. Джангодский горизонт разделен на три самостоятельных горизонта; введены синонимы для «тюменских» свит, подсвит и пачек; помещены покровные глинистые пачки клиноформного комплекса; изменена индексация



пластов ачимовской пачки с добавлением литеры соответствующего покровного пласта. Эти схемы утверждены бюро МСК 9 апреля 2004 г., по мелу – 5 апреля 2005 г.

В мае 2005 г. на базе СНИИГГиМС и ИНГГ СО РАН в Новосибирске прошло рабочее стратиграфическое совещание по верхнему докембрию и кембрию Средней Сибири. На докембрийской секции рассматривались проекты региональных стратиграфических схем рифейских отложений западной части Сибирской платформы (подготовлен Б. Г. Краевским.ю СНИИГГиМС), и вендских отложений Байкитской антеклизы и Катангской седловины Сибирской платформы (подготовлен Н. В. Мельниковым, СНИИГГиМС), а также проекты двух альтернативных схем отложений верхнего докембрия Алтае-Саянской складчатой области: 1) А. А. Терлеева, А. А. Постникова (ИНГГ СО РАН), Б. Г. Краевского (СНИИГГиМС), О. В. Сосновской (Красноярскгеолсъемка), 2) С. Л. Тарновского (СНИИГГиМС), противопоставляемый первому.

Оценивая в целом современное состояние стратиграфической основы Сибири, приходится констатировать, что в силу объективных и субъективных причин утвержденные МСК стратиграфические схемы, являющиеся основным документом для геологов-производственников, по одним временным срезам не пересматривались уже более 35 лет, а по другим – 15–20 лет. Тем не менее СибРМСК с начала 2000-х гг. провела несколько крупных рабочих стратиграфических совещаний по ключевым районам Сибири, на которых рассматривались все дискуссионные вопросы, касающиеся существующих и вновь разрабатываемых стратиграфических схем. В ходе обсуждения был определен ряд важнейших проблем пространственно-временных взаимоотношений осадочных толщ, а также несоответствия разрабатываемых легенд геологических карт разного масштаба официально утвержденной стратиграфической основе.

В настоящее время подготовка предстоящих МРСС становится намного более важным и трудным этапом в работе СибРМСК, чем в 1970–1980-е гг., когда связь геолого-съемочных и стратиграфических работ была очень тесной, практически все пленумы и стратиграфические совещания собирали большую аудиторию из представителей производственных и научных организаций различных ведомств. Именно там руководство геологических управлений отчитывалось за геолого-съемочные работы и получало всестороннюю оценку их качества. На таких собраниях происходила оперативная апробация различных усовершенствований в стратиграфических построениях, планировалось специальное комплексное литолого-биостратиграфическое изучение опорных разрезов, озвучивалась экспертная оценка новых легенд.

Следует заметить, что современное развитие стратиграфии и выполнение ею практических задач

на должном уровне сталкиваются с непреодолимой проблемой острейшего кадрового дефицита, возникшей два десятилетия назад. Резкое сокращение государственного финансирования в 1990-е гг. буквально обескровило геологическую отрасль, научно-методический уровень региональных работ упал, снизились требования к качеству материалов. Связь научно-исследовательских стратиграфических и геолого-съемочных работ была прервана. Во многих научных геологических организациях были катастрофически сокращены или полностью ликвидированы палеонтолого-стратиграфические подразделения. Так, если в 1960–1970-е гг. число сотрудников отдела стратиграфии и палеонтологии СНИИГГиМС доходило до 65, то в настоящее время их менее 25, и значительная их часть – специалисты со стажем 40–60 лет и более. Еще более удручающая картина наблюдается на производстве, особенно при организации СибРМСК очередных совещаний или при попытках решения актуальных или дискуссионных вопросов. По сути, обсуждать их стало не с кем.

В конце 1980-х гг. на фоне перестройки структуры геологической службы была разрушена иерархия этапов создания, апробации и внедрения основных стратиграфических построений в практику ГРР, отраженная в двух изданиях Стратиграфического кодекса и в методических рекомендациях по составлению серийных легенд. В 1996 г. появился документ «О валидности местных стратиграфических и нестратиграфических подразделений, используемых при составлении серийных легенд Госгеолкарты-200». В 1998 г. он был обнародован в постановлениях МСК и его постоянных региональных комиссий [13]. Суть его заключается в том, что не запрещается *использовать в серийных легендах не утвержденные МСК «невалидные» местные стратоны*. Объяснение этому кардинальному решению звучит так: «в связи с составлением в геологических организациях серийных легенд второго издания Госгеолкарты-200 Российской Федерации и учитывая имеющиеся трудности для их своевременной публикации» [13, с. 30]. В результате РМСК и региональные петрографические советы были лишены функции экспертизы практически руками МСК. И это несмотря на то, что в методических рекомендациях по составлению серийных легенд Госгеолкарты-200 [10] подчеркивалось: в задачу составителей входит анализ всей геологической информации, полученной при проведении геолого-съемочных и научно-исследовательских работ и соисполнителями легенды; помимо головной организации-составителя, должны участвовать и производственные, и научные организации. «К созданию СЛ и к анализу используемых для СЛ материалов **необходимо привлекать в обязательном порядке членов РМСК и Региональных петросоветов...** Члены РМСК и РПС **контролируют** соблюдение в СЛ требований СК и ПК» [10, с. 7–8].



После выхода этого постановления геолого-съемочные организации получили полную свободу от каких-либо регламентированных действий и перестали обращаться в РМСК. Широким потоком условно валидные (в действительности невалидные) подразделения вошли в практику ГСР. И практически сразу горькие плоды этого постановления не заставили себя ждать. Примеров грубых ошибок в легендах любого из стратиграфических срезов и районов можно привести очень много, и количество их с каждым годом возрастает.

Выполненная в 2000 г. специалистами нашего института работа по заказу МПР РФ «Эталонные разрезы и межсерийные корреляционные схемы верхнего докембрия и фанерозоя Сибири с целью совершенствования легенд для государственного геологического картирования масштабов 1:200 000 и 1:1 000 000», а также несколько более поздних работ по анализу легенд к госгеолкартам среднего масштаба (новая серия) Западной Якутии, показали ряд проблем и огромное количество ошибок в новых легендах. Вопрос об отмене данного постановления уже более 20 лет поднимается на бюро СибРМСК; хотя и отмечается в ежегодных отчетах МСК, но так и не решается. Такое положение дел удобно только руководителям ВСЕГЕИ.

В настоящее время доля условно валидных региональных подразделений в большинстве легенд составляет уже более 50%. Этот бесконтрольный процесс свитотворчества **необходимо остановить как можно скорее**. Безуспешные попытки это сделать, причем на высоком уровне, уже были. Так, имеется приказ МПР РФ № 145 от 01.06.2000 г., регламентирующий работу МСК России, его структуру и состав. В нем, в частности, было сказано, что «решения (постановления) МСК, утвержденные в установленном порядке, являются обязательными для всех организаций, проводящих соответствующие работы на территории России... Утвержденные МСК региональные корреляционные стратиграфические схемы являются обязательными для использования в качестве основы при разработке легенд обзорных, сводных и полистных карт различного масштаба». Но этот приказ был забыт вместе с уходом министра Б. А. Яцкевича, а пресловутое постановление о валидности [13] живо и поныне.

С 2002 г. в России начаты работы по созданию Госгеолкарты-1000 третьего поколения. Анализ новых материалов, проведенный по различным регионам России, ярко свидетельствует о низком качестве этих работ из-за недостаточной проработки первичной геологической информации, отсутствия учета новейших данных и изменений, вносимых в общую и региональные стратиграфические шкалы и отраженных в стратиграфических схемах нового поколения. Провести межсерийную «сбивку» легенд среднемасштабного геологического картирования и схем районирования для разработки легенд миллионного масштаба способны лишь

специалисты, обладающие широким кругозором и большим опытом работы в области региональной геологии, а таких в настоящее время осталось не так уж и много. Не следует забывать, что разработке легенд всегда должна предшествовать работа по созданию усовершенствованных стратиграфических схем. Утверждение НРС серийных легенд без предварительной экспертизы в РМСК является ошибкой.

Карта расположения листов ГК-1000/3, планируемых к вводу в соответствии с основными направлениями работ до 2020 г., показывает, что в основном это Сибирь и Дальний Восток. Поэтому данную работу необходимо выполнить предельно корректно и качественно. Чтобы этот процесс носил планомерный и необратимый характер, предлагается на базе РМСК, призванных совершенствовать стратиграфическую основу в пределах конкретных регионов России, в тесной координации с РЭС, геолого-съемочными и научными организациями *провести работы по усовершенствованию и созданию разномасштабных серийных легенд, а также по обеспечению их межрегиональной корреляции*, как это делалось ранее.

Для этого необходима разработка нормативных документов, регламентирующих целостное научно-методическое руководство стратиграфическими исследованиями на территории России, с целью создания единой «цепочки»:

- 1) авторские (как правило, коллективов исследователей) макеты стратиграфических схем;
- 2) экспертное заключение РМСК и официальное принятие схем на совещании;
- 3) утверждение схем МСК России;
- 4) создание легенд к геологическим картам;
- 5) экспертиза легенд РМСК и официальная их рекомендация для РЭС;
- 6) рассмотрение легенд в РЭС и их официальное утверждение и рекомендация к применению при геокартировании.

Данный вопрос именно в таком контексте неоднократно поднимался на заседаниях бюро СибРМСК и в МСК России.

В настоящее же время в «Методических рекомендациях по содержанию и оформлению серийных легенд к цифровым геологическим картам комплектов ГК-200/2 и ГК-1000/3» [9] условно валидным подразделениям уделено очень много внимания, но за более чем 20-летнюю историю существования названного постановления ни одной копии протокола о вновь выделенных подразделениях (что однозначно прописано в постановлении [13, с. 32]) в СибРМСК не поступало! Мы убеждены, что таких необоснованных свит-фантомов по стране за 20 лет появилось очень много.

Большим событием стало проведение 26–30 ноября 2012 г. в Новосибирске (ИНГГ СО РАН) Всероссийского стратиграфического совещания по разработке региональных стратиграфических схем верхнего докембрия и палеозоя Сибири. Такого



ранга совещание проводилось здесь же 33 года (!) назад. В работе четырех секций (докембрийской, кембрийской, ордовикско-силурийской и девонской) участвовали более 130 специалистов из 29 научно-исследовательских организаций, МПР РФ, производственных предприятий. Было рассмотрено 20 региональных стратиграфических схем, 18 из которых рекомендованы для утверждения МСК РФ. Решения совещания опубликованы в постановлениях МСК и его постоянных комиссий [14, с. 15–21]. Перед рассмотрением на Бюро МСК все схемы прошли апробацию в соответствующих комиссиях комитета и получили положительную оценку председателя комиссии по региональным стратиграфическим схемам. В последующие 3,5 года 16 региональных стратиграфических схем были рассмотрены и утверждены на Бюро МСК. В настоящее время планируется издание этих схем в спецвыпусках журнала «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири». Первая публикация вышла в свет в начале 2017 г. [6].

Задачи, которые необходимо выполнять сибирским геологам-нефтяникам, диктуют нам необходимость скорейшего создания региональных стратиграфических схем нового поколения. В первую очередь это касается верхнего докембрия – кембрия внутренних районов Сибирской платформы. После принятия стратиграфических схем (Новосибирск, 12–15 ноября 1986 г.) прошло больше 30 лет. За это время в вендских отложениях южной и центральной частей Сибирской платформы открыто более 30 месторождений нефти и газа, на более чем 60 лицензионных участках 30 акционерными обществами ведутся геолого-разведочные работы. Несмотря на то что принятые корреляционные схемы [17, 20] должны были обеспечить надежную стратиграфическую привязку разрезов, очень часто допускаются необоснованные искажения стратиграфического положения продуктивных горизонтов.

Впервые обновленная Региональная стратиграфическая схема вендских отложений Тунгусского региона Сибирской платформы была представлена Н. В. Мельниковым в ноябре 2012 г. на секции докембрия СибРМСК. Однако несмотря на неоднократные коллегиальные ее обсуждения и усовершенствования в схеме остаются нерешенные проблемы. Необходимы ревизия всего имеющегося палеонтологического материала, доказательство изохронности или стратиграфической последовательности найденных органических остатков, обоснование корреляции с разрезами обнаженной периферии юга платформы, надежная привязка региональных стратиграфических подразделений к Общей, или Российской (ОСШ) и Международной (МСШ) стратиграфическим шкалам. Эту работу необходимо проделать в кратчайшие сроки и представить схему на Бюро МСК.

Еще одним важным уровнем, как в прикладном, так и в теоретическом плане является кембрий Сибирской платформы, региональная стратиграфи-

ческая схема которого принята МСК для внедрения в практику ГРП. В отличие от ранее принятых схем [17, 20] в новой схеме

- дается корреляция ярусных подразделений кембрия, принятых к использованию в ОСШ России, с подразделениями разрабатываемой МСШ;

- изменено положение нижних границ верхнего отдела кембрия и майского яруса среднего кембрия в соответствии с постановлением МСК [15];

- в соответствии с постановлением МСК СССР [12] расширен объем верхнего кембрия за счет включения в него отложений, коррелируемых с батырбайским ярусом, стратотип которого находится в Казахстане;

- три фациальных региона, установленных в схемах 1979 г. [20], соотнесены с тремя основными обстановками карбонатного осадконакопления: Турухано-Иркутско-Олекминский (в верхнем кембрии Турухано-Иркутский), Анабаро-Синский (в верхнем кембрии Котуйско-Игарский) и Юдомо-Оленекский (в верхнем кембрии Норильско-Хараулахский) фациальные регионы отвечают соответственно внутреннему (или закрытому) шельфу вместе с субаэральной зоной; внешнему шельфу, или рифовому обрамлению карбонатных платформ и банок; открытому морскому бассейну.

Биостратиграфические шкалы, разработанные ранее для стратиграфических последовательностей каждой из перечисленных обстановок осадконакопления [20], получили дальнейшую детализацию и уточнение.

Основную часть новой схемы кембрия Сибирской платформы составляют материалы бурения, демонстрирующие в одном месте не фрагмент, а существенную часть или всю последовательность отложений системы. Этим в значительной мере объясняются нововведения по форме построения, отличающие ее от предыдущих схем [20]:

1. Разрезы кембрия представлены *в единой последовательности* без разрыва их на отделы и помещения в самостоятельные схемы (схема 1979 г. [20] в действительности состояла из девяти стратиграфических схем – для каждого из трех отделов трех фациальных регионов).

2. Установлена как латеральная фациальная дифференциация отложений, так и вертикальная. Для ее отражения введена *цветовая индексация* принадлежности определенных частей разрезов скважин и естественных обнажений к одному из трех основных фациально-генетических типов отложений – внутреннему шельфу, внешнему шельфу, открытому морскому бассейну. Эти обстановки осадконакопления отражены на серии фациально-палеогеографических схем, прилагаемых к стратиграфической схеме и соответствующих Турухано-Иркутско-Олекминскому, Анабаро-Синскому и Юдомо-Оленекскому фациальным регионам.

3. Для расчленения и корреляции единых разрезов, содержащих на разных стратиграфических

уровнях разнофациальные отложения, используются *одновременно три биостратиграфические шкалы*, разработанные для указанных трех фациальных (или ландшафтно-палеогеографических) регионов и обозначенных в предлагаемой схеме той же цветовой раскраской. Начало разработки этих шкал было положено уже в схемах 1979 г.

4. В качестве приложений представлен *комплект документов*, в который включены обобщенная схема корреляции местных стратиграфических подразделений кембрия Сибирской платформы, схема положения основных местных стратиграфических подразделений в идеализированном ряду осадочных обстановок, седиментационная модель и комплект фациально-палеогеографических схем.

Таким образом, разработка стратиграфической схемы нового поколения для кембрия Сибирской платформы находится в русле тенденции концептуальных изменений в современной мировой стратиграфии – отказа от традиционного узкого понимания ее задач (сводившихся в основном к созданию шкал и схем и господства в ней «блинной парадигмы») и перехода к трактовке стратиграфии как эффективного инструмента комплексных историко-генетических исследований осадочных бассейнов, локального и регионального прогноза их слоистой структуры. Стратиграфия поднимается с описательного констатационного уровня на предсказательный количественный. Она становится основой для понимания прошлых осадочных и тектонических процессов. В новой концепции устанавливается главенство связи вещественно-слоистой структуры осадочных толщ и органических комплексов с изменениями условий осадконакопления и осадкоемкого пространства палеобассейнов. Такие теоретические принципы и методические приемы, предполагающие использование широкого комплекса данных (палеонтологических, седиментологических, сейсмических, промыслово-геофизических, палеогеоморфологических и др.), побуждают исследователей одновременно находить ответы и на традиционные для стратиграфии вопросы – *в какой последовательности и когда*, и на несвойственный для нее вопрос – *почему*. Они дают возможность прояснить целый ряд проблем, обсуждаемых не одно десятилетие и не решаемых в рамках традиционных представлений. Например, можно понять причину появления «углового несогласия» в залегании шельфовых и подстилающих их бассейновых образований при одновременном отсутствии литологических и био-стратиграфических признаков перерыва в отложениях, последовательно заполняющих осадкоемкое пространство и имеющих первично наклонную клиноформно-проградационную хроностратиграфическую структуру (со смещением фациальных границ на многие десятки, до сотен километров), а также субгоризонтальную, с асинхронными границами литостратиграфическую расслоенность бассейнового комплекса (рис. 1).

За более чем полувековую историю системных стратиграфических исследований Сибирской платформы было доказано, что кембрийские отложения имеют отчетливую фациальную зональность. Но лишь с середины 1970-х гг. появились не только догадки, но и доказательства, что причина такой зональности, прежде всего, в региональной батиметрической неоднородности акватории и в особенности карбонатной седиментации, т. е. в наличии двух типов гигантских структур: 1) шельфов, или карбонатных платформ, с преобладающим эвапоритовым карбонатным осадконакоплением, ограниченных рифовым обрамлением; 2) открытых морей. Этим обусловлено сходство отложений и фаунистических комплексов в разрезах, удаленных на сотни километров, и, наоборот, различия близлежащих.

Существенные достижения имеются у сибирских палеонтологов и стратиграфов в области изучения терригенных комплексов верхнего палеозоя – мезозоя Сибири. Подготовленные к рассмотрению в МСК региональные стратиграфические схемы нового поколения построены практически по одному принципу. В этих схемах на фоне более детального изучения зональных комплексов ископаемой фауны и флоры выявлена разноранговая трансгрессивно-регрессивная этажность седиментогенеза, позволяющая построить строго иерархические стратиграфические схемы.

Сибирская платформа и прилегающие территории являются одним из немногих регионов Северной Евразии, где существует возможность в естественных выходах и в то же время по материалам глубоких скважин изучать и анализировать латеральные и вертикальные изменения терригенных толщ во всесторонне обоснованном непрерывном стратиграфическом разрезе. Имеется реальный потенциал для выявления основных аспектов терригенного седиментогенеза вообще и апробации существующих моделей формирования осадочных толщ в пределах пассивных континентальных окраин в частности.

Разрез верхнепалеозойско-мезозойского комплекса Сибири построен по принципу разноранговой трансгрессивно-регрессивной цикличности (рис. 2). Обычно морские трансгрессивные уровни с резкой нижней границей, представленные глинистыми осадками, вверх по разрезу сменяются более грубозернистыми отложениями регрессивных этапов; к последним в прибортовых зонах приурочены перерывы осадконакопления [5]. Переломные моменты, когда море, отступая, оставляет на прибрежной равнине многочисленные лагуны и озера, отражены особенно мощным угленакоплением (рис. 3).

В стратиграфических схемах нефтегазоносных территорий Западной Сибири к основанию свит и подсвит приурочены резервуары, а к кровле – флюидоупоры (котухтинская свита и др.) [18]. В отличие от них палеозойско-мезозойский комплекс Средней Сибири генетически более обоснованно

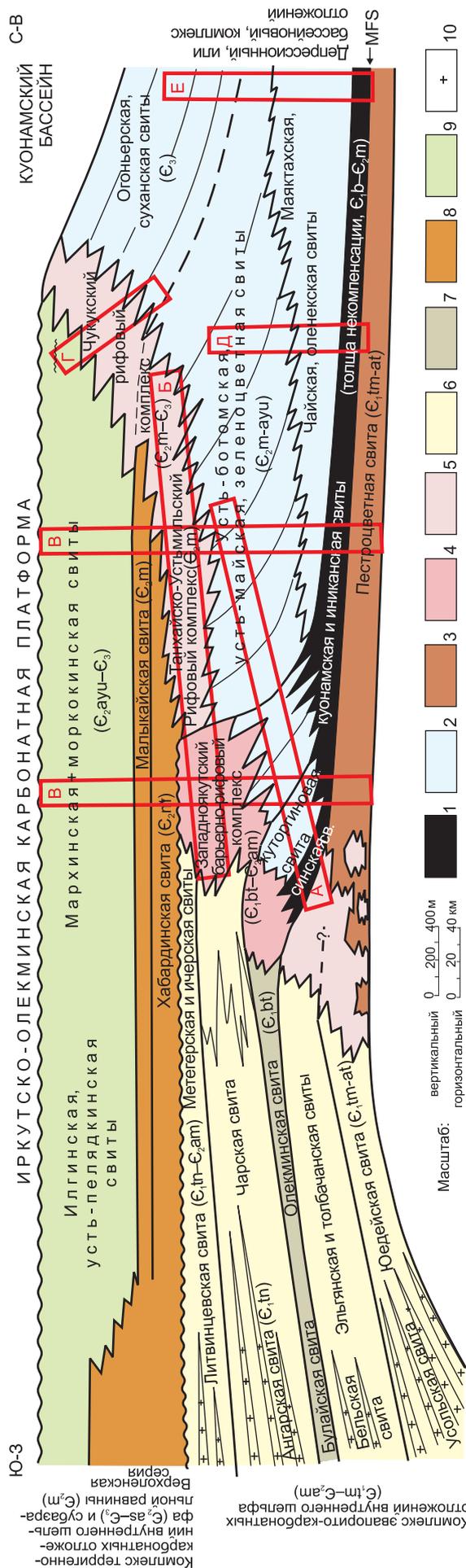


Рис. 1. Принципиальная модель (палеогеологический разрез) соотношения основных фациальных комплексов кембрия Сибирской платформы: внутришельфовых (солонных), окраинно-шельфовых (рифовых) и бассейновых (открыто-морских) и составляющих их литостратонов (сост. С. С. Сухов на основе модели В. А. Асташкина, 1989, с изменениями и дополнениями)

Основные осадочные обстановки и литоформационно-фациальные комплексы: 1 – «голодный», или черносланцевый, бассейн; 2 – открытый флишевый бассейн с хорошей циркуляцией вод, временами с ограниченной циркуляцией до «голодного» режима; 3 – открытый карбонатный шельф, или рампа; 4 – барьерно-рифовая окраина шельфа и связанные с ней зарифовые отмели и предрифовые склоны; 5 – рифово-отмельный (небарьерный) пояс карбонатного рампа; 6 – внутренний закрытый, шельф, или эвапоритовый бассейн; 7 – глубокая внутришельфовая лагуна с карбонатным осадконакоплением; 8 – субаэральная соляная равнина, или сабха, изредка заливаемая морем; 9 – приливно-отливная равнина или литоральный шельф; 10 – галит. MFS – поверхность максимального затопления.

Отражены: морфоструктура Иркутско-Олекминской карбонатной платформы, с окаймляющими ее органическими платформами, и сопряженного с ней Юдомо-Оленекского палеобассейна; последовательное преобразование рампы в карбонатную платформу, а ее – вновь в рампу; эволюция рифово-баровых отмельных образований в сложную построенную контрастную рифовую систему, которая затем латерально наращается интенсивно проградировавшим рифово-баровым комплексом; последовательное формирование глубоководного Куонамского бассейна, с «голодным» режимом накопления, последующее заполнение его флишевыми отложениями и отщеснение карбонатным шельфом, а также положение некоторых разрезов, составляющих сводный разрез: А – среднее течение р. Лена от пос. Синское до Покровска; Б – р. Амга в среднем течении; В – скажины склонов Алданской и Анабарской антеклиз; Г – р. Куломбэ; Д – р. Мая, нижнее течение; Е – рр. Оленек, Молодо, Хос-Нелегэ

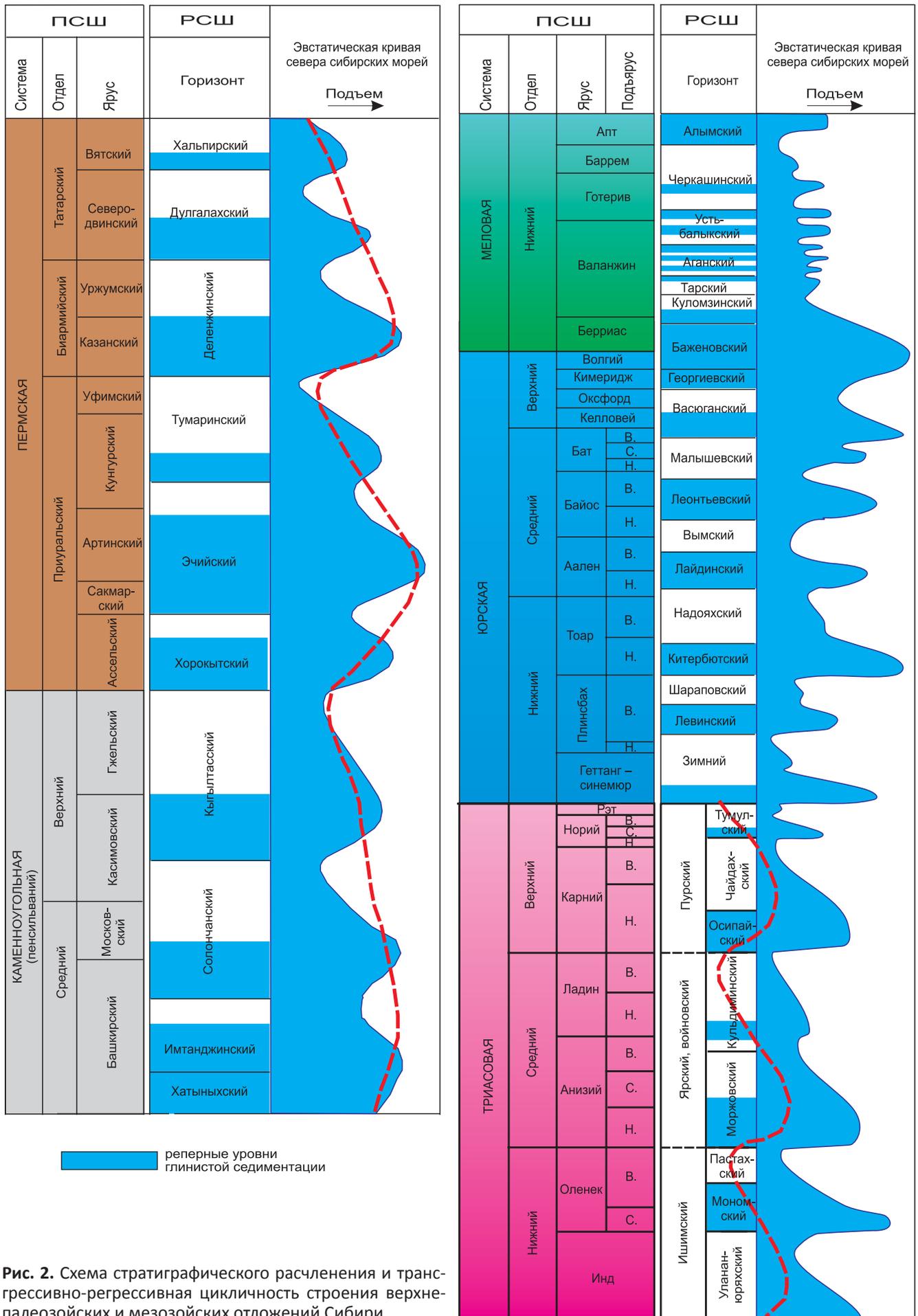


Рис. 2. Схема стратиграфического расчленения и трансгрессивно-регрессивная цикличность строения верхнепалеозойских и мезозойских отложений Сибири

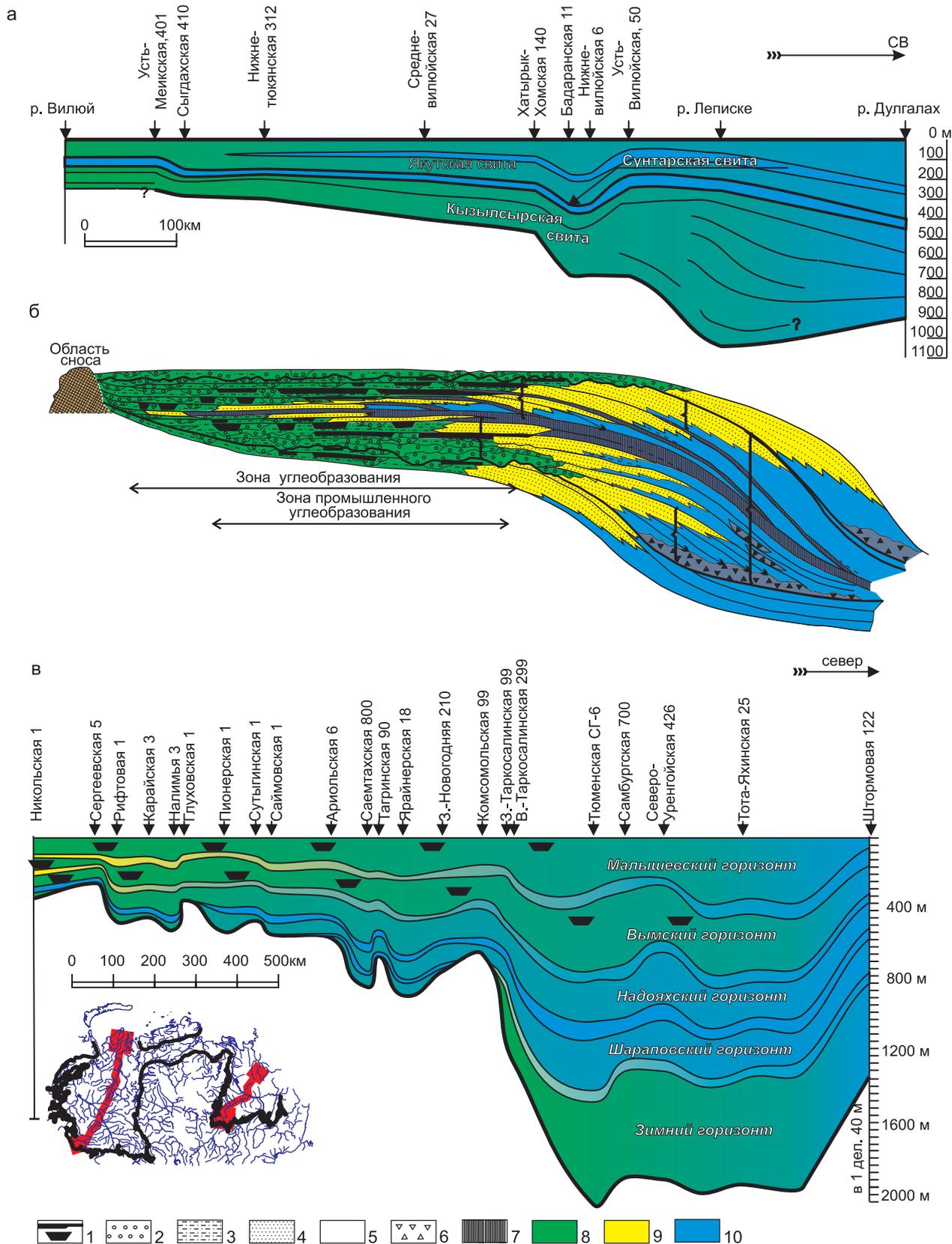


Рис. 3. Палеогеологические разрезы и принципиальная модель строения нижнесреднеюрских (а), верхнепалеозойских (б) отложений Вилюйской гемисинеклизы и Западно-Сибирской плиты (в)

1–3 – прибрежно-континентальные: 1 – пласты угля (вне масштаба), 2 – флювиальные песчаники врезанных долин, 3 – озерно-пойменные алевролиты и аргиллиты; прибрежно-морские: 4 – мелководно-морские (дельтовые) песчаники; 5–7 – морские: 5 – шельфовые и склоновые алевролиты и аргиллиты, 6 – разнотермические неотсортированные породы подводного конуса выноса (иногда глинисто-карбонатные олистолиды и олистостромы), 7 – конденсированные горизонты аргиллитов; 8–10 – обстановки седиментации: 8 – прибрежно-континентальные, 9 – прибрежно-морские, 10 – морские



расчленяется на ритмосвиты (верхний палеозой) [4, 5]; свиты, подсвиты (мезозой) [22], основания которых сложены тонкозернистыми трансгрессивными породами. Трансгрессивно-регрессивные уровни, являющиеся производными эвстатических колебаний, прослеживаются на площади всего бассейна осадконакопления и подчеркивают его внутреннее единство (см. рис. 2, 4). Крупные трансгрессивно-регрессивные этапы, отвечающие им стратиграфические горизонты и отдельные реперные уровни могут быть прослежены в разрезах всей Сибири и за ее пределами, что еще раз подтверждает глобальную причину данного явления. Они образуют каркас стратиграфических схем, а палеоландшафты, определяемые более локальными тектоническими движениями и обуславливающие латеральные изменения генетического и вещественного состава пород, являются критерием выделения местных стратонтов. По этому принципу построены практически все стратиграфические схемы верхнего палеозоя – мезозоя Сибири. Бассейновая стратиграфия, будучи отражением внутренней слоистой структуры осадочного заполнения пространства палеобассейна, и создаваемые на ее базе седиментационные модели должны быть взаимоувязаны и благодаря этому должны исключать любые возникающие противоречия (см. рис. 4). Такие модели и палеогеографические реконструкции положены в основу фациального районирования региональных стратиграфических схем нового поколения.

Структура латеральных фациальных рядов краевых бассейнов отражена в линзовидно-сигмоидном изменении мощности отложений. Так, от Сибирской платформы к Верхоянскому мегантиклинирию мощность нижнесреднеюрских отложений закономерно увеличивается от 100 м в Ангаро-Вилюйском прогибе до 900–1100 м на западном склоне Верхоянских гор, характеризуя первый уровень лавинной (дельтовой) седиментации. Отмечая аналогичную изменчивость нижнесреднеюрских отложений Западной Сибири (с юга на север) и современных разрезов континентальных окраин, можно сделать заключение, что такое строение является правилом для «мегадельт» разного ранга всех эпох терригенного седиментогенеза.

Второй уровень лавинной седиментации также уверенно выделяется, к примеру, в разрезах верхнего палеозоя восточного склона Верхоянского хребта, где в нижних подсвитах ритмосвит, накопившихся в периоды максимумов трансгрессивных этапов в зоне подножья континентального склона, отмечаются мощные олистостромы и олистолиты (см. рис. 3, 4).

Оба уровня лавинной седиментации характеризуются не только увеличением стратиграфической полноты разрезов и мощности отложений, но еще и существенным увеличением доли песчаных образований, что влечет за собой увеличение этажа нефтегазоносности. В пределах Вилюйской гемисинеклизы смена по латерали маломощных от-

ложений шельфа толщами лавинной седиментации сопровождается выклиниванием по первичному восстанию большого количества песчаных пластов и пачек, что, в свою очередь, является стратиграфическим критерием зон развития ловушек углеводородов неантиклинального типа (рис. 5).

За 60 лет работы палеонтологи, стратиграфы, петрологи СНИИГГиМС накопили богатейший материал. Это сотни коллекций шлифов и пришлифовок, палеонтологических образцов и пр., часть из которых сдана в палеонтологический музей ИНГГ СО РАН и ЦНИГР-музей при ВСЕГЕИ, а остальная масса этого бесценного материала требует систематизации, углубленного анализа и надлежащего хранения.

СибРМСК, вопреки сложившейся непростой ситуации, продолжает успешно выполнять возложенные на нее 50 лет назад функции. Это крупное геологическое сообщество, способное совместно с Петросоветом и ЗапСибРЭС вести сопровождение стратиграфических исследований и актуализацию серийных легенд Госгеолкарты-200, 1000 Сибирского региона.

К сожалению, в отсутствие внятного государственного запроса на стратиграфические исследования и стабильного финансирования престиж палеонтологов и стратиграфов-профессионалов в последние годы падает. Их количество уменьшается. К примеру, палинологов, работающих в сибирских геологических организациях, осталось не больше десятка, специалистов по трилобитам кембрия – пятеро (двое из них со стажем почти 60 лет!). Средний возраст палеонтологов и стратиграфов отдела стратиграфии и палеонтологии СНИИГГиМС – более 55 лет, членов СибРМСК – около 60 лет. Это катастрофические показатели. Еще вчера следовало бы провести омоложение кадрового состава, иначе это важнейшее направление геологических исследований в нашей стране, и в частности в Сибири, попросту исчезнет. Пока еще СибРМСК усилиями специалистов СНИИГГиМС и ИНГГ СО РАН, где ситуация также непростая, «закрывает» практически всю стратиграфическую шкалу.

В последние годы основные приоритеты работы МСК сместились в область оценки модернизации МСШ. В процессе разработки последней смена критерия проведения нижних границ стратиграфических подразделений и поиски оптимальных GSSP повлекли кардинальные изменения в структуре систем – в количестве и наименованиях отделов и ярусных подразделений. Представляется, что нововведения в разрабатываемых и совершенствующихся стратиграфических схемах докембрия и фанерозоя России должны быть оценены с двух позиций: 1) в какой степени они улучшают понимание геологической истории изучаемого сектора земной коры, 2) какие из них следует рекомендовать для скорейшего внедрения и использования на территории России, а в каких случаях следует сохранить разумный консерватизм.

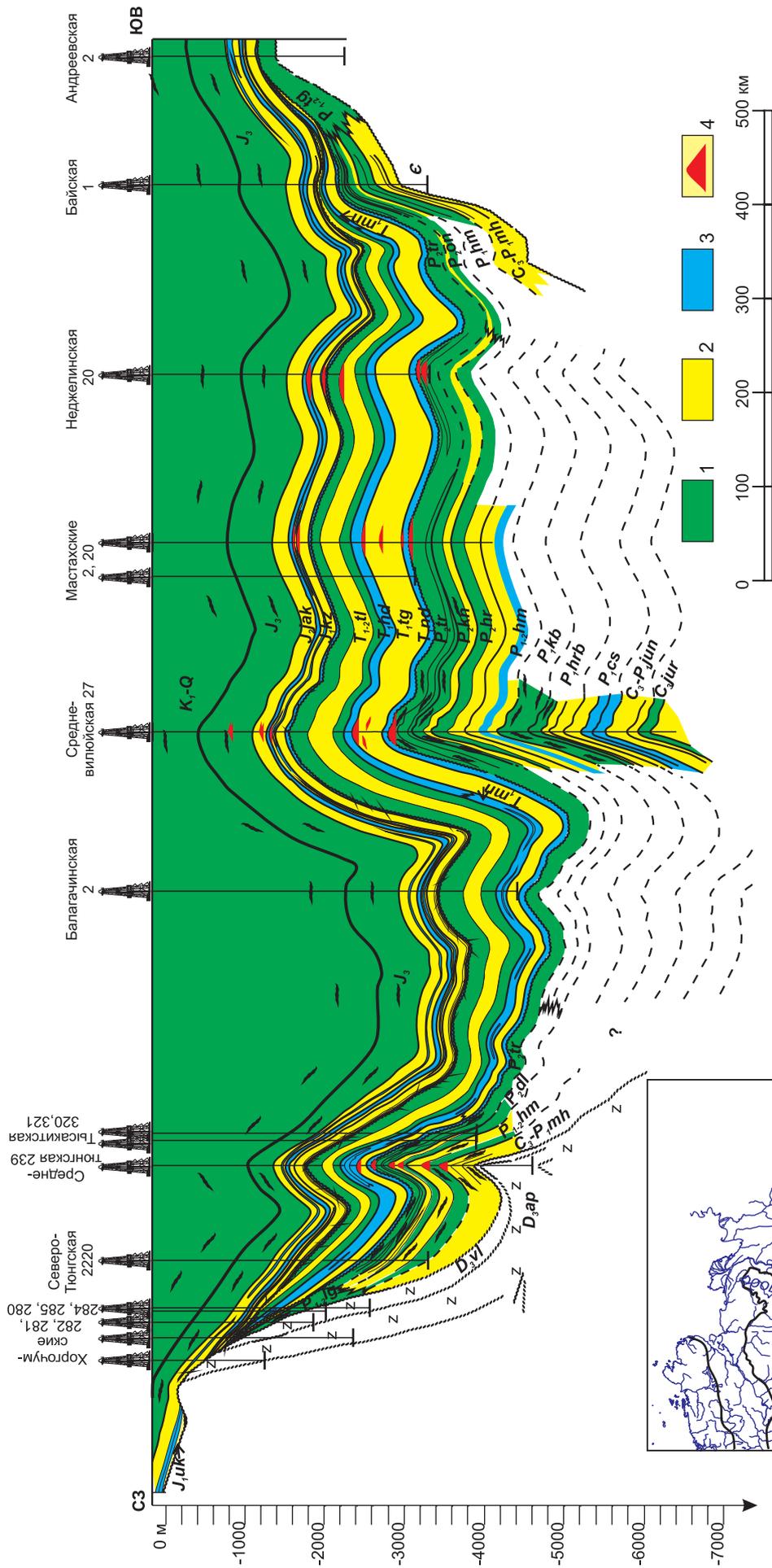


Рис. 5. Фациальный профиль Вилюйской гемипелогической (р. Тюнг – Андреевская скв. 2) Обстановки осадконакопления: 1 – континентальные, 2 – переходные, 3 – морские, 4 – залежи углеводородов



При решении этих вопросов важно понимать, что дальнейшее совершенствование стратиграфической основы, под которой обычно понимается комплекс построений регионального уровня (в первую очередь корреляционные схемы и легенды для Госгеолкарт), повышение ее точности и достоверности невозможно без совершенствования самой методики стратиграфических исследований. Представляется, что наибольшие перспективы открывает путь тесной интеграции с седиментологическим анализом, с реконструкцией эволюции целых осадочных палеобассейнов и с моделированием протекавших в них процессов. Главная составляющая такого подхода – комплексные стратиграфические исследования, включающие раскрытие внутренней слоистой структуры региона (на разных уровнях обобщения и одновременно всевозможными методами), создание моделей развития и выявление закономерностей строения осадочных толщ как в пространстве, так и во времени. Высокая разрешающая способность корреляционных построений, сравнимая с точностью биоэкологического уровня, и детальность палеореконов в такой методике обеспечиваются ее системностью, комплексностью и возможностью перекрестной проверки выводов.

Геоисторический подход (седиментология и бассейновый анализ, методы секвенс-стратиграфии, событийной стратиграфии и палеоэкологического анализа) активно внедряется в практику стратиграфов всего мира и меняет их профессиональное мировоззрение. Картируемые стратиграфические подразделения призваны отражать этапы развития Земли как геосистемы со взаимосвязанными компонентами. Их изучение, наряду с традиционной и не потерявшей своей актуальности и важности биостратиграфией, должно включать определение фациальной дифференциации отложений, выяснение многообразных пространственно-временных отношений стратон, анализ формы слоистых тел, порядка их формирования, генетических связей, условий и способа образования, определения характера границ породных ассоциаций.

Несмотря на имеющиеся финансовые и кадровые проблемы, основными направлениями деятельности СибРМСК всегда были и остаются разработка и совершенствование региональных стратиграфических схем докембрия и фанерозоя Сибири, экспертная оценка разномасштабных легенд геологического картирования с целью повышения качества геолого-съёмочных, геолого-разведочных и поисковых работ на различные виды полезных ископаемых. Другим аспектом деятельности СибРМСК является совершенствование теоретических основ стратиграфии, в том числе стратиграфической номенклатуры и классификации, а также участие в разнообразных международных проектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Биостратиграфия** палеозоя Саяно-Алтайской горной области. В 3 т. Т. I. Нижний палеозой / ред.

Л. Л. Халфин. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1960. – 498 с.

2. **Биостратиграфия** палеозоя Саяно-Алтайской горной области. В 3 т. Т. II. Средний палеозой / ред. Л. Л. Халфин. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1960. – 850 с.

3. **Биостратиграфия** палеозоя Саяно-Алтайской горной области. В 3 т. Т. III. Верхний палеозой / ред. Л. Л. Халфин. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1962. – 569 с.

4. **Будников И. В.** Обоснование корреляции морских и континентальных отложений Сибири на основе анализа закономерностей седиментогенеза осадочных толщ // Формационный анализ в геологических исследованиях. – Томск: ТГУ, 2002. – С. 26–29.

5. **Будников И. В.** Принципы и результаты изучения цикличности осадконакопления верхнепалеозойских отложений Верхоянского палеобассейна // Теоретические и методологические вопросы седиментационной цикличности и нефтегазоносности. – Новосибирск: Наука, 1988. – С. 106–113.

6. **Геология** и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2017. – № 5с. – 104 с.

7. **Гольберт А. В., Климова И. Г., Сакс В. Н.** Опорный разрез неокома Западной Сибири в Приполярном Зауралье. – Новосибирск: Наука, 1972. – 135 с.

8. **Кузбасс** – ключевой район в стратиграфии верхнего палеозоя Ангариды: сб. науч. тр. В 2 т. / ред. И. В. Будников. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1996. – Т. I. – 122 с.; Т. II. – 109 с.

9. **Методические** рекомендации по содержанию и оформлению серийных легенд к цифровым геологическим картам комплектов ГК-200/2 и ГК-1000/3. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. – 36 с.

10. **Методические** рекомендации по составлению серийных легенд Госгеолкарты-200. – СПб.: ВСЕГЕИ, 1998.

11. **Опорный** разрез неокома севера Сибирской платформы (Енисей-Хатангский прогиб, Анабаро-Хатангская седловина): геологическое описание / ред. А. В. Гольберт. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1981. – Т. 1. – 99 с.; Т. 2. – 136 с.

12. **Постановления** Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 29. – СПб.: ВСЕГЕИ, 1997. – 35 с.

13. **Постановления** Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 30. – СПб.: ВСЕГЕИ, 1998. – 33 с.

14. **Постановления** Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 43. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2014. – 48 с.

15. **Постановления** Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 44. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2016. – 66 с.

16. **Решения** 3-го Межведомственного регионального стратиграфического совещания по мезозою и кайнозою Средней Сибири (Новосибирск, 1978). – Новосибирск, 1981. – 92 с.



17. **Решения** 4-го Межведомственного стратиграфического совещания по уточнению и дополнению стратиграфических схем венда и кембрия внутренних районов Сибирской платформы. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1989. – 64 с.

18. **Решения** V Межведомственного регионального стратиграфического совещания по мезозойским отложениям Западно-Сибирской равнины (Тюмень, 1990 г.). – Тюмень, 1991. – 54 с.

19. **Решения** Всесоюзного совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем докембрия, палеозоя и четвертичной системы Средней Сибири. Ч. II (средний и верхний палеозой). – Новосибирск, 1982. – 129 с.

20. **Решения** Всесоюзного стратиграфического совещания по докембрию, палеозою и четвертичной системе Средней Сибири. Ч. I. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1983. – 216 с.

21. **Решения** Межведомственного совещания по рассмотрению и принятию региональной стратиграфической схемы палеозойских образований Западно-Сибирской равнины / В. С. Бочкарев, Ф. Г. Гурари, В. Н. Дубатов и др. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1999. – 79 с.

22. **Стратиграфия** нефтегазоносных бассейнов Сибири. Юрская система / Б. Н. Шурыгин, Б. Л. Никитенко, В. П. Девятов и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2000. – 480 с.

© И. В. Будников, В. П. Девятов, С. С. Сухов, 2017



ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ (ТЕКТОНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ, СТРАТИГРАФИЯ, МАГМАТИЗМ, ИСТОРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ)

Г. А. Бабин^{1,2}, С. П. Шокальский¹¹Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия; ²Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

Представлены результаты обобщения материалов по геологии Алтае-Саянской складчатой области. С позиций современных представлений охарактеризованы основные черты стратиграфии, магматизма, метаморфизма и тектонического строения, намечены этапы геологической эволюции региона. Стратиграфические и тектонические построения сопровождаются структурно-тектонической схемой и тектоностратиграфическими колонками. Тектоническим районированием предусмотрено подразделение Алтае-Саянской области на шесть складчатых систем, отличающихся друг от друга возрастом, составом и тектонической природой структурно-вещественных комплексов, временем проявления и стилем дислокаций, преобладающей ориентировкой структур. В истории геологического развития выделено 11 этапов, расшифровка содержания которых приводится по результатам комплексного анализа составов и пространственно-временных соотношений структурно-вещественных комплексов.

Ключевые слова: Алтае-Саянская складчатая область, стратиграфия, магматизм, метаморфизм, тектоника.

MAJOR GEOLOGICAL FEATURES OF THE ALTAI-SAYAN FOLDED REGION (TECTONIC ZONING, STRATIGRAPHY, MAGMATISM, GEOLOGICAL EVOLUTION)

G. A. Babin^{1,2}, S. P. Shokalsky¹¹A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, St Petersburg, Russia; ²Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

The paper provides the results of compilation of geological data on the Altai-Sayan folded region. Taking into account the current views, the authors have characterised major features of stratigraphy, magmatism, metamorphism, and tectonics, and drawn up stages of geological evolution of the region. Stratigraphic and tectonic maps were complimented with a structural-tectonic chart and tectonic-stratigraphic columns. In terms of tectonics, the Altai-Sayan folded region is divided into six folded systems different in age, composition, and tectonic nature of structural and compositional complexes, occurrence time, dislocation styles, and prevailing structural trends. There are 11 geological evolution stages, which have been interpreted from the integrated analysis of composition and space-time correlation of structural and compositional complexes.

Keywords: Altai-Sayan folded region, stratigraphy, magmatism, metamorphism, tectonics.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6c-19-37

Алтае-Саянская каледонская складчатая область (АССО) входит в состав Центрально-Азиатского (Урало-Монгольского) подвижного пояса, расположена вблизи юго-западной окраины Сибирского кратона. С северо-востока по Главному Саянскому разлому она граничит с Присаянским краевым выступом кратона, на юго-востоке – с Саяно-Байкальской областью байкалитид. На западе совместно с герцинидами Обь-Зайсанской области перекрыта мезозойско-кайнозойскими отложениями Западно-Сибирской плиты. Складчатым структурам АССО отвечают горные сооружения Салаира, Горного Алтая, Кузнецкого Алатау, Горной Шории, Восточного и Западного Саяна, Тывы, разделенные Кузнецкой, Минусинской и Тувинской межгорными впадинами (рис. 1).

Тектоническое районирование

В строении Алтае-Саянской области преобладают ранне- и позднекаледонские структуры. Их

основание представлено разрозненными блоками ранне- и позднепротерозойских пород. С мощным тектономагматическим импульсом в девоне связано образование наложенных на каледониды прогибов, впадин и грабен. Развитие наиболее крупных из них с преобладанием на поздних этапах осадочных процессов продолжалось до перми включительно. К центральным частям прогибов приурочены юрские впадины, выполненные угленосной молассой. В сводных разрезах АССО выделяются венд-раннеордовикский, позднекембрийско-силурийский, раннедевонско-раннекаменноугольный, раннекаменноугольно-пермский, мезозойский и кайнозойский структурно-вещественные комплексы (СВК), границы которых в большинстве случаев фиксируются поверхностями структурных несогласий и перерывами в осадконакоплении.

Область подразделяется на шесть складчатых систем (СС), различающихся возрастом, веществен-

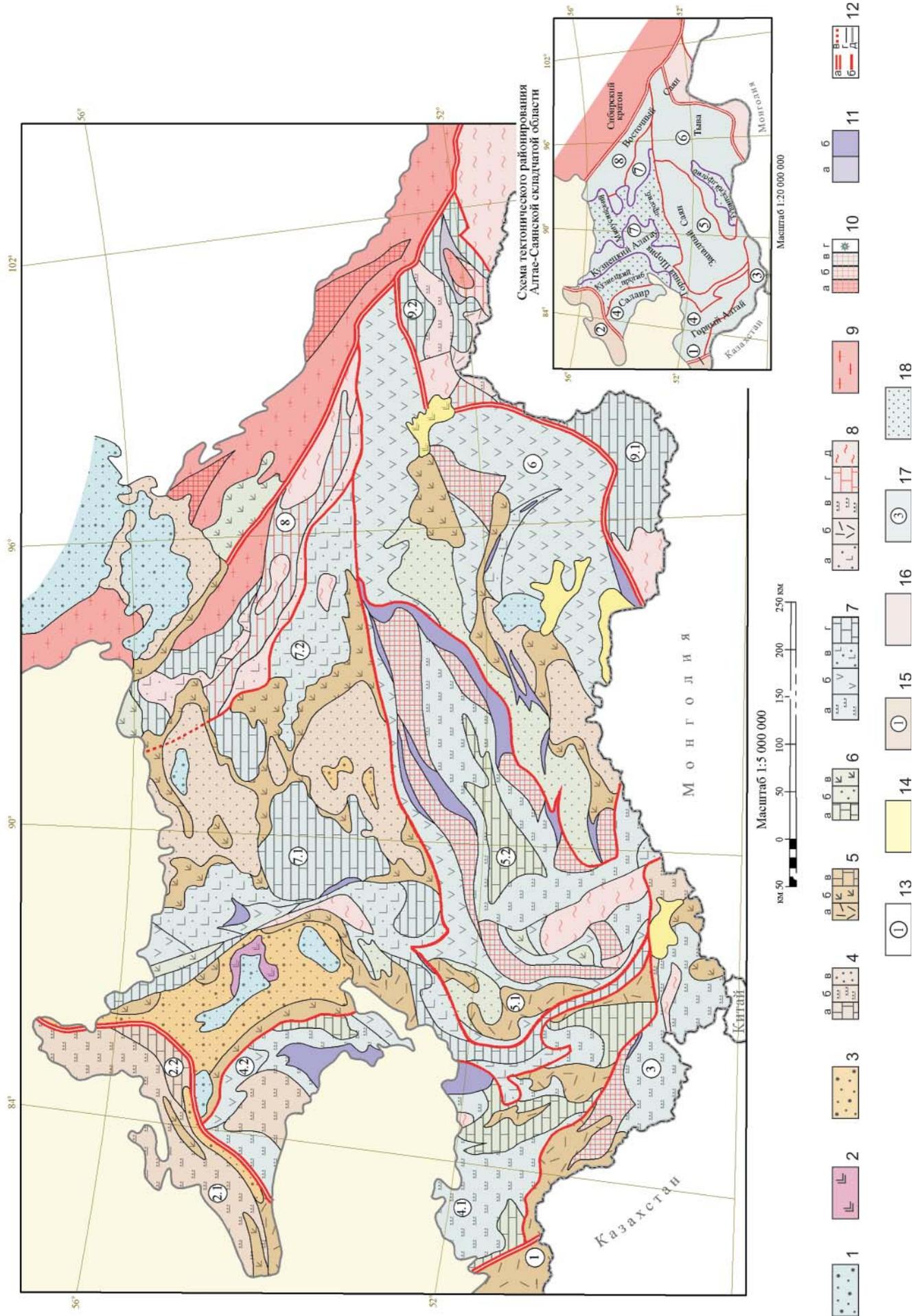


Рис. 1. Структурно-геологическая схема Алтае-Саянской складчатой области и прилегающих территорий

1 – юрские угленосные молассы; 2 – нижне-среднетриасовые рифтогенные базальты; 3 – нижнекаменноугольно-пермские угленосные молассы; 4 – среднедевонско-нижнекаменноугольные комплексы: а – терригенно-карбонатные шельфов пассивных континентальных окраин, б – турбидитовые континентальных склонов, в – молассы; 5 – девонские комплексы: а–б – вулканические активной континентальной окраины андского типа – базальт-андезит-риолитовые (а) и бимодальные рифтогенные (б), в – терригенно-карбонатные шельфовых фаций; 6 – верхнекембрийско-силурийские комплексы пассивной континентальной окраины: а – терригенно-карбонатные шельфов, б – молассы, в – вулканические бимодальные локальных зон рифтогенеза; 7 – венд-раннеордовикские комплексы: а – турбидитовые островодужных склонов и подножий, б – базальт-плагиориолитовые энсиматических островных дуг, в – MORB и OIB задуговых бассейнов, г – терригенно-карбонатные шельфов пассивных континентальных окраин, шельфов и поднятий задуговых бассейнов; 8 – рифейские комплексы: а – MORB и OIB задуговых бассейнов и океанических поднятий, б – базальт-андезит-риолитовые активной континентальной окраины андского типа, в – турбидитовые континентальных и островодужных склонов, г – метакарбонатные шельфов пассивных континентальных окраин, д – гнейсово-кристаллосланцевые и гнейсово-амфиболитовые; 9 – раннепротерозойские и архейские гранулит-гнейсовые и гранит-зеленокаменные комплексы; 10 – зеленосланцевые метапелитовые и метабазитовые комплексы с раннепротерозойским (а), рифейским (б) и венд-кембрийским (в) субстратами; немасштабные проявления глаукофан-зеленосланцевого метаморфизма HP-LT (г); 11 – офиолитовые ассоциации позднерифейские (а) и венд-раннекембрийские (б); 12 – границы: а – складчатых областей, б–в – складчатых систем (б – установленные, в – скрытые под более молодыми образованиями), г – структурно-вещественных комплексов, д – Западно-Сибирской мезозойско-кайнозойской плиты и чехла Сибирского кратона; 13 – складчатые системы: *Обь-Зайсанская складчатая область*: 1 – Рудно-Алтайская, 2.1–2.2 – Колывань-Томская (2.1 – Северо-Западная, 2.2 – Юго-Восточная зоны); *Алтае-Саянская складчатая область*: 3 – Монголо-Алтайская, 4.1–4.2 – Салаиро-Алтайская (4.1 – Горный Алтай, 4.2 – Салаир), 5.1–5.2 – Западно-Саянская (5.1 – Горный Алтай, 5.2 – Западный Саян), 6 – Тувинская; 7.1–7.2 – Кузнецко-Саянская (7.1 – Кузнецкий Алатау, Горная Шория и Горный Алтай, 7.2 – Восточный Саян), 8 – Восточно-Саянская; *Саяно-Байкальская складчатая область*: 9.1–9.2 – Тувино-Монгольская (9.1 – Восточная Тува, 9.2 – Восточный Саян – юго-восточные районы); *на врезке*: 14 – Западно-Сибирская мезозойско-кайнозойская плита; 15 – Обь-Зайсанская герцинская складчатая область (*складчатые системы*: 1 – Рудно-Алтайская; 2 – Колывань-Томская); 16 – Саяно-Байкальская складчатая область байкалид, Тувино-Монгольская складчатая система (микроконтинент); 17–18 – Алтае-Саянская каледонская складчатая область: 17 – *складчатые системы*: 3 – Монголо-Алтайская, 4 – Салаиро-Алтайская, 5 – Западно-Саянская, 6 – Тувинская, 7 – Кузнецко-Саянская, 8 – Восточно-Саянская; 18 – раннедевонско-пермские прогибы

ным составом и тектонической природой доминирующих геологических комплексов, временем проявления и стилем дислокаций, преобладающей ориентировкой структур (см. рис. 1).

Восточно-Саянская система байкалид представлена Дербинским и Канским метаморфическими блоками, Красноярско-Ашкосокской межблоковой складчатой зоной и Манским венд-кембрийским прогибом. Дербинский блок сложен позднерифейскими мраморами с выступами амфиболит-гнейсового кристаллического основания. Канская «глыба» состоит как из ранне-, так и из позднекембрийских метаморфических пород. Красноярско-Ашкосокская зона по периферии Дербинского блока объединяет продукты позднерифейского вулканизма, ассоциирующие с ними подстилающие и перекрывающие терригенно-карбонатные образования, комагматичные габброидные интрузии и альпинотипные гипербазиты. Манский прогиб наложен на рифейские структуры, выполнен карбонатными и терригенными осадками с возрастом от венда до среднего кембрия.

Кузнецко-Саянская СС включает разобщенные девонско-каменноугольным Минусинским прогибом раннекаледонские структуры Горного Алтая, Кузнецкого Алатау, Горной Шории на западе и Восточного Саяна на востоке. В ее строении преобладают венд-кембрийские образования, интенсивно дислоцированные в эпоху раннекаледонской складчатости (средний кембрий – ордовик), присутствуют редкие блоки позднерифейских пород. Широко

распространены кембро-ордовикские гранитоиды. Ордовикские осадки развиты ограниченно, представлены молассами; силурийские – отсутствуют. Средне- и позднепалеозойскими отложениями выполнены наложенные прогибы, наиболее крупными из которых являются Кузнецкий и Минусинский, грабены и вулканотектонические депрессии. Их заложение связывается с раннедевонским рифтогенезом. Разрезы представлены слабдеформированными девонско-раннекаменноугольными вулканогенными и осадочными образованиями, каменноугольно-пермской угленосной молассой.

Монголо-Алтайская, Салаиро-Алтайская и Западно-Саянская СС на западе и юго-западе АССО обладают схожими чертами геологического строения, но отличаются преобладающей ориентировкой структур. Раннекаледонские деформации и орогенез здесь выражены слабо, кембро-ордовикский гранитоидный магматизм не проявился, осадконакопление без значительных перерывов и несогласий продолжалось с венда вплоть до девона и раннего карбона. Эти структуры традиционно классифицируются как поздние каледониды [23].

Вещественную основу складчатых систем составляет мощная толща ритмично-слоистых кембро-ордовикских мелкообломочных турбидитовых фаций. В Салаиро-Алтайской СС они ассоциируют с венд-кембрийской офиолитовой ассоциацией и кембрийско-среднеордовикскими островодужными вулканидами. Монголо-Алтайская СС характеризуется присутствием крупных блоков метамор-

фических пород зеленосланцевой и амфиболитовой фаций. Западно-Саянская СС отличается широким развитием кембрийских островодужных серий и обилием блоков метаморфических пород зеленосланцевой, эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций. Палеоостроводужные ассоциации располагаются в ее западном и северном обрамлении, образуют протяженный Алтае-Северо-Саянский магматический пояс [1, 22].

Отложения ордовик-силурийского СВК известны во всех трех складчатых системах поздних каледонид, ограничены локальными прогибами, трансгрессивно перекрывают кембро-раннеордовикские образования и представлены карбонатно-терригенными осадками шельфа. Верхняя граница комплекса устанавливается по началу интенсивного девонского вулканизма и имеет диахронный характер. В большинстве случаев она совпадает с подошвой эмса, в Западном Саяне – с границей силура и девона.

Девонско-раннекаменноугольные отложения наследуют ордовик-силурийский структурный план, заполняют ядерные части прогибов, в интервале от лохова до франа сложены вулканогенно-осадочными комплексами, а далее вверх по разрезу сменяются континентальной молассой.

Тувинская СС в юго-восточной части АССО представлена венд(?)-раннекембрийскими вулканогенно-осадочными образованиями, для которых реконструируются условия островных дуг и задуговых бассейнов. Исключительно широко распространены кембро-ордовикские и девонские гранитоиды. К границе с Саяно-Байкальской складчатой областью приурочен Агардагский офиолитовый пояс.

Стратиграфия

Верхний рифей

В Восточном Алтае, Кузнецком Алатау и Горной Шории к верхнему рифею условно отнесены метаморфизованные вулканические и ассоциирующие с ними осадочные породы (рис. 2). Они характеризуются повышенным относительно раннепалеозойских образований метаморфизмом, достигающим зеленосланцевой фации, образуют тектонические пластины в шовных зонах, обнажаются в ядрах антиклинорных структур, где служат основанием мощного венд-кембрийского карбонатного разреза. В большинстве случаев они представлены сланцево-метабазальтовыми ассоциациями с участием базальтов океанических островов и поднятий (OIB), реже базальтов срединно-океанических хребтов (MORB). С ними сопряжены выходы альпинотипных гипербазитов, иногда габброидов. Взаимоотноше-

ния с подстилающими и перекрывающими образованиями не установлены.

Наиболее широко верхнерифейские отложения развиты в Восточно-Саянской складчатой системе. Дербинский блок сложен одноименной толщей графитистых мраморов и кварцитов. Их возраст обоснован датированием детритовых цирконов (U-Pb, SHRIMP), результаты которого находятся в интервале от раннего протерозоя (2,475 млрд лет) до позднего рифея (от 579±41 до 677±54 млн лет) (неопубликованные данные А. Н. Тимашкова). Мраморы подстилаются плагиогнейсово-кристаллосланцевым комплексом, предположительно, также поздне-рифейского возраста.

Дербинский блок с трех сторон облекается Красноярско-Ашкосокской межблоковой зоной, выполненной метавулканиками, сланцами и терригенно-карбонатными отложениями верхнего рифея. Вулканические породы представлены контрастно дифференцированной серией. Преобладают высокотитанистые базальты толеитовой и субщелочной серий (OIB), формирование которых происходило предположительно в обстановке океанических (задуговых) поднятий. Sm-Nd возраст пород составляет 774,6±5 млн лет [52]. С базальтоидами сопряжены комагматичные габброидные интрузии и альпинотипные гипербазиты.

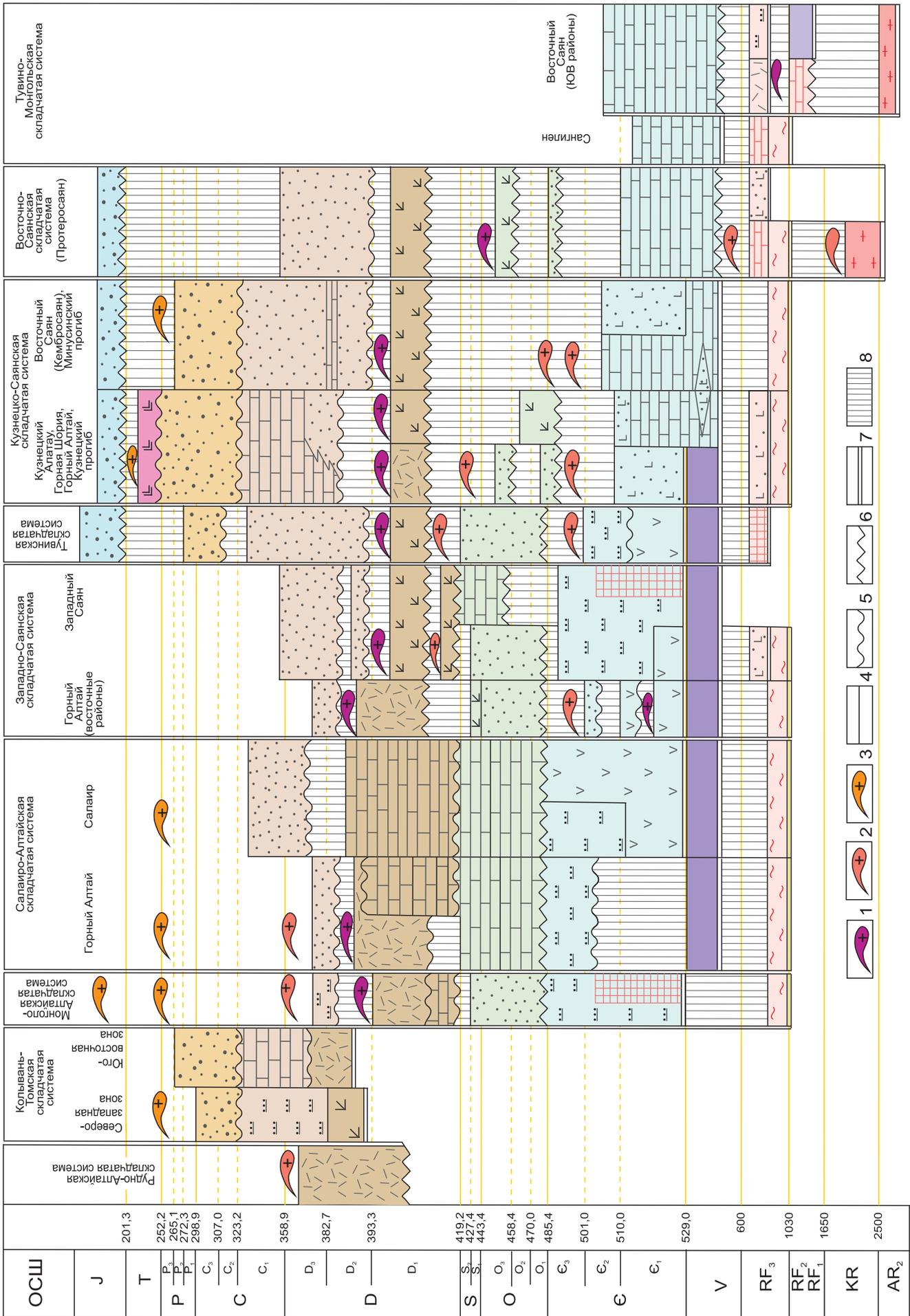
Венд

Венд представлен выдержанным по мощности (3–4 км) и составу карбонатным комплексом, наиболее полным в Кузнецко-Саянской СС, в структурах, которые традиционно рассматриваются как антиклинорные. Единичные тектонические блоки (олистомиты) аналогичных пород известны среди офиолитов на Салаире и в Западном Саяне.

Перекрывается карбонатная толща согласно или с небольшим перерывом сланцево-карбонатными фаунистически охарактеризованными отложениями нижнего кембрия. Ее нижняя граница повсеместно тектоническая. В качестве подстилающих образований выступают метавулканические и метаморфические комплексы предположительно позднерифейского возраста. В Кузнецком Алатау (Томский блок) Sm-Nd возраст амфиболитов в основании карбонатного разреза составляет 694±43 млн лет [27].

Почти повсеместно карбонатный комплекс подразделяется на две толщи: нижнюю (темные известняки) и верхнюю (светлые водорослевые доломиты). На юго-востоке Кузнецкого Алатау и в Восточном Саяне к их границе приурочена свита пестроцветных лав и туфов базальтов (OIB) и красноцветных терригенных пород. В западном

Рис. 2. Тектоностратиграфические колонки Алтае-Саянской складчатой области и сопредельных территорий 1–3 – гранитоидные интрузии: 1 – вулканоплутонических поясов, 2 – коллизионные, 3 – анорогенные; 4–7 – геологические границы: 4–6 – стратиграфические (4 – согласные, 5 – с размывом, 6 – с региональным угловым несогласием), 7 – тектонические; 8 – стратиграфические перерывы. Остальные усл. обозн. см. на рис. 1





обрамлении Кузнецкого Алатау и Горной Шории, а также в Северо-Восточном Алтае отложения целиком представлены более глубоководными фациями с преобладанием темноокрашенных мраморизованных известняков, глинистых, кремнистых и метатерригенных сланцев.

В верхней доломитовой толще на севере и юго-востоке Кузнецкого Алатау собраны остатки известковых водорослей и мелкораковинной фауны (*Cloudina* sp.) [19]. В нижних известняках известны многочисленные находки невландиевой проблематики и спикул губок.

На востоке Алтае-Саянской области (Восточно-Саянская СС) отложения венда составляют основание разреза Манского прогиба, с перерывом в осадконакоплении, базальными конгломератами и угловым несогласием перекрывают позднерифейские метавулканиды Красноярско-Ашкосокской зоны и метаморфические породы Арзыбейского блока. Наряду с темными плитчатыми известняками здесь широко распространены алевролиты, аргиллиты и песчаники. Нижняя стратиграфическая граница толщи детально изучена и охарактеризована [6].

Нижний кембрий – нижний ордовик

Кембро-ордовикские отложения развиты во всех складчатых системах АССО, представлены вулканогенно-осадочным, терригенно-карбонатным и турбидитовым типами разрезов, а также офиолитовыми ассоциациями, в совокупности характеризующими обстановку активной континентальной окраины западнотихоокеанского типа. Вулканогенно-осадочные разрезы характеризуют обстановки океанических дуг и задуговых бассейнов. Палеоостроводужные ассоциации связаны фаціальными переходами с турбидитовыми, задуговые – с терригенно-карбонатными разрезами.

Палеоостроводужные вулканогенно-осадочные ассоциации распространены в Салаиро-Алтайской и Западно-Саянской складчатых системах. На Салаире они охватывают интервал от нижнего кембрия до нижнего ордовика, представлены нижнекембрийским базальт-плагиориолитовым, средне-верхнекембрийским и верхнекембрийско-нижнеордовикским плагиориодацит-андезит-лейкобазальтовыми вулканическими комплексами. Среди вулканитов преобладают лейкобазальты, андезибазальты и плагиориолитоиды. Андезитов мало; их объем увеличивается вверх по разрезу. Породы принадлежат к известково-щелочной, реже толеитовой (нижнекембрийский комплекс) сериям, характеризуются натриевой специализацией, слабым ростом общей и калиевой щелочности от ранних образований к поздним, интенсивно албитизированы. Широко развиты вулканогенно-осадочные и тефроидные фации; в нижнем кембрии обычны крупные массивы рифогенных известняков. В западном направлении вулканические породы замещаются турбидитовыми фациями.

В Западно-Саянской складчатой системе нижнекембрийские вулканогенно-осадочные комплексы в виде неширокой полосы прослеживаются по западному и северному обрамлению структур из юго-восточной части Горного Алтая через южные районы Горной Шории до восточного окончания Западного Саяна почти на 1000 км и выделены в качестве венд-кембрийского магматического пояса островодужной природы [1, 22].

Разрезы здесь имеют двучленное строение. Первая половина нижнего кембрия сложена осадочно-вулканогенными комплексами с широким развитием базальтовых или плагиориолит-базальтовых толеитовых серий. Базальтоиды отличаются повышенными лейкократовостью, кремнеземистостью, магнезиальностью и глиноземистостью, крайне низкими общей щелочностью, содержаниями калия, титана и фосфора, классифицируются в качестве толеитов энсиматических островных дуг (IAT). Присутствуют андезибазальты и андезиты, иногда близкие по составу к типичным бонинитам, туфы, туффиты, туфопесчаники, граувакки и сланцы. Отложения содержат спикулы губок, неопределимые остатки археоциат и обызвествленных водорослей. Их нижняя граница повсеместно тектоническая.

Образования верхней половины нижнего кембрия и низов среднего по объему значительно уступают породам первого этапа, с размывом и перерывом в осадконакоплении, но без структурного несогласия перекрывают нижележащие отложения, содержат мощные горизонты конгломератов с валунами и гальками подстилающих вулканитов, плагиогранитоидов и габбро. Превалируют вулканокластические фации, вулканогенно-осадочные и терригенные породы. Типичны пестроцветная окраска, фаціальная изменчивость, обилие крупных массивов рифогенных известняков. Вулканизм характеризуется известково-щелочной спецификой, гомодромной эволюцией составов с повышением щелочности снизу вверх по разрезу. Доминируют базальты и андезибазальты, присутствуют андезиты и риолитоиды. Отложения содержат обильные остатки археоциат с возрастом от верхней части атдабанского до тойонского ярусов нижнего кембрия и трилобитов низов амгинского яруса.

Вулканогенно-осадочные разрезы задуговых бассейнов приурочены к Кузнецко-Саянской складчатой системе, тяготеют к ее западным районам, известны в Кузнецком Алатау и Горной Шории, Горном Алтае [18] и Восточном Саяне. Они свойственны зонам активного задугового вулканизма, отличаются фаціальюй пестротой, значительными вариациями доли вулканических пород, представлены раннекембрийской и ранне-среднекембрийской ассоциациями.

Раннекембрийская (нижняя половина кембрия) ассоциация – это слабо дифференцированные толеитовые и субщелочные базальты (OIB и MORB), черные кремнистые и глинистые сланцы. Она часто



вмещает тектонизированные протрузии альпино-типных гипербазитов и дифференцированные гипербазит-базитовые интрузии. В западных районах породы, как правило, имеют тектонические ограничения, залегают в виде офиолитовых пластин-сутур между «блоками-антиклинориями» или на границе с палеоостроводужными структурами Западно-Саянской складчатой системы, иногда образуют фрагментированные аллохтоны среди шельфовых отложений задугового бассейна. В восточном направлении количество вулканических пород сокращается, увеличивается доля вулканогенно-осадочных и терригенных фаций, темных плитчатых известняков и сланцев. В сланцах известны спикулы губок, в известняках – остатки археоциат томмотского яруса и нижних горизонтов атдабанского.

Для вулкаников характерны покровный характер излияний, широкое развитие подушечных лав, слабое – интрателлурических фаз, почти полное отсутствие пирокластических фаций. Они сложены базальтами и трахибазальтами, присутствуют оливин-порфиновые пикробазальты и плагиориолитиды. Базальтоиды отличаются слабой дифференцированностью, повышенными меланократовостью и щелочностью, высокими содержаниями оксидов титана (от 1–1,5 до 4–5 %) фосфора, низкой глиноземистостью, близки по составу OIB и MORB окраинно-морских бассейнов.

Нижне-среднекембрийские образования с размывом, но без структурного несогласия перекрывают отложения первой половины нижнего кембрия, охватывают интервал от атдабанского до низов амгинского ярусов нижнего и среднего кембрия. В основании разрезов залегают мощные пачки валунно-галечных конгломератов с обломками синхронных базальтоидов, иногда археоциатовых известняков, еще реже – кремнистых и интрузивных (горнблендиты, тоналиты, плагиограниты, микродиориты) пород.

Комплекс отличается фациальной пестротой, ареальным характером вулканизма, пестроцветным обликом пород, сложен терригенно-тефроидными конгломератами, гравелитами, песчаниками, алевролитами, паратуффитами, туфами, реже лавами порфирических базальтов, лейкобазальтов, иногда андезибазальтов, прослоями и рифогенными массивами известняков. Базальтоиды характеризуются умеренными титанистостью, фосфористостью, умеренной и высокой (лейкобазальты) глиноземистостью, принадлежат к известково-щелочной серии, близки к одновозрастным островодужным вулканитам Западно-Саянской складчатой системы.

В Горной Шории среднекембрийские вулканиды отличаются аномально высокими щелочностью и калиевостью, выделены в трахит-трахиандезит-трахибазальтовый комплекс, сопровождаются гипабиссальными сиенитовыми интрузиями [9, 22].

Терригенно-карбонатные разрезы развиты в восточных районах Кузнецко-Саянской и в Восточ-

но-Саянской СС, сменяют в восточном направлении вулканогенно-осадочные ассоциации задугового бассейна, согласно, без перерыва наращивают известняково-доломитовый мегакомплекс позднего венда, насыщены органическими остатками, охватывают интервал от конца венда до верхов амгинского яруса среднего кембрия. Мощность отложенный оценивается в 3–4 км. Нижние части разрезов (венд и томмотский ярус) сложены темными плитчатыми известняками, реже доломитами, глинистыми, известково-глинистыми и кремнистыми сланцами, терригенными породами. На участках, прилегающих к зонам активного вулканизма, они содержат пирокластическую примесь, редкие горизонты лав и туфов базальтов, продуктивны в отношении фосфоритов и марганцевых руд. Верхняя половина нижнекембрийских отложений отличается массовым развитием рифовых построек. Среднекембрийский (амгинский ярус) разрез представлен терригенными, редко карбонатно-терригенными образованиями, иногда со слабыми проявлениями вулканических пород.

Турбидитовые разрезы распространены в западных и южных районах АССО (Салаиро-Алтайская, Монголо-Алтайская и Западно-Саянская складчатые системы), отвечают обширной области осадконакопления, сменяющей по латерали палеоостроводужные структуры Салаира и Западного Саяна. Отложения охватывают интервал от нижнего кембрия до нижнего ордовика, синхронны кембрийским палеоостроводужным комплексам, отчасти перекрывают их.

В Горном Алтае они традиционно рассматриваются в составе горноалтайской серии с двучленным строением разрезов. Нижние горизонты характеризуются преобладанием зелено-серых монотонных ритмично-слоистых кварц-плагиоклазовых песчаников и метаалевролитов. Верхние, примыкающие к фаунистически охарактеризованным ранне- и среднеордовикским отложениям «молагассовые» части разрезов представлены более грубозернистыми незрелыми и слабее сортированными пестроцветными граувакковыми осадками с повышенной карбонатностью.

На Салаире аналогичные образования известны как «зелено-фиолетовая серия», залегающая между терригенно-карбонатными осадками нижнего кембрия и песчаниками и алевролитами с остатками аренигских граптолитов [5]. Верхние горизонты серии содержат остатки тремадокских брахиопод [37]. К средней части разреза приурочена толща вулканогенно-осадочных и вулканических пород основного и среднего составов, аналогичных по составу охарактеризованным выше среднекембрийским – нижнеордовикским палеоостроводужным ассоциациям Салаира.

В Западном Саяне устанавливается трехчленное строение турбидитового комплекса. Преобладают ритмично переслаивающиеся метапесчаники

и металевролиты кварц-полевошпатового состава с редкими остатками водорослей и анабаритид позднего венда – нижнего кембрия в нижних горизонтах. Средняя часть разреза, так же как и на Салаире, отличается пестроцветным обликом, широким развитием вулканогенно-осадочных пород и тефроидов. Иногда присутствуют редкие покровы и туфы базальтов. Отложения с размывом перекрываются фаунистически охарактеризованными осадками среднего и верхнего ордовика.

Офиолитовые ассоциации известны в Кузнецком Алатау [31], на Салаире [21] и Алтае [17], в Западном Саяне и Тыве, где обособляются в качестве Кузнецко-Алатауского, Салаирского, Борусского и других офиолитовых поясов [33]. Их наиболее полные разрезы приурочены к Куртушибинскому поясу (одноименный хребет в Западном Саяне) [15].

Ассоциации объединяют толеитовые и субщелочные базальтоиды, аналогичные OIB, реже MORB. Широко распространены черные глинистые и кремнистые сланцы; реже встречаются терригенные породы, иногда известняки, а также альпинотипные гипербазиты, долеритовые дайковые комплексы и ультрабазит-базитовые интрузии; иногда присутствуют жилы плагиогранитов.

Породы находятся в аллохтонном залегании, образуют тектонические чешуи, пакеты, деформированные и фрагментированные покровы, меланж-олистостромовые комплексы. Уровень метаморфизма варьирует от пренит-пумпеллиитовой до эпидот-амфиболитовой фаций. Установлены проявления HP-LT-метаморфизма (глаукофановые сланцы, жадеититы, эклогиты, гранатовые амфиболиты), тяготеющие как к metabазальтам, так и сопряженным с ними зеленосланцевым образованиям. По мнению Н. Л. Добрецова [13], они маркируют палеозоны субдукции.

Венд-раннекембрийский возраст офиолитов в Кузнецком Алатау, на Салаире и в Горном Алтае обоснован их сонахождением с археоциатовыми известняками и наличием разрезов, переходных от сланцево-базальтовых комплексов к фаунистически охарактеризованным терригенно-карбонатным фациям шельфа задуговых бассейнов. В Западном Саяне они содержат спикюлы губок, скудные остатки обывествленных водорослей, скелетной фауны венд-нижнекембрийского возраста [10]. На продолжении Западно-Саянского офиолитового пояса в Озерной зоне Монголии датированы (U-Pb, Sm-Nd) габброиды и плагиограниты офиолитовой ассоциации, изотопный возраст которых варьирует от 573 ± 6 до 527 ± 43 млн лет [8, 26, 48]. В Тыве (Агардагская зона) U-Pb-возраст плагиогранитов, рвущих гипербазиты расслоенной серии, составляет 570 млн лет [50].

Ордовик – силура

Для ордовика и силуры реконструируются два типа областей осадконакопления.

Западные районы АССО (Салаиро-Алтайская и Монголо-Алтайская складчатые системы) и Западный Саян (одноименная складчатая система) отличаются наиболее устойчивыми режимами седиментации. Отложения здесь представлены мощной карбонатно-терригенной толщей, трансгрессивно перекрывающей кембрийско-нижнеордовикские турбидиты. Комплекс осадков соответствует единому тектоническому и седиментационному событию, которое определяется эволюцией ордовик-силурийского палеобассейна [32]. Режим осадконакопления отвечает условиям шельфа пассивной континентальной окраины. Породы представлены серыми и пестроцветными песчаниками, алевролитами, аргиллитами в различной степени известковистыми, глинистыми сланцами, мергелями и известняками, горизонтами конгломератов и гравелитов. Интервал от верхнего ордовика до нижнего девона является вторым по значимости (после венд-нижнекембрийского) уровнем карбонатного осадконакопления в АССО.

Разрезы Салаира и Алтая наиболее полные. Перерывы в осадконакоплении здесь незначительны, структурные несогласия устанавливаются редко, выражены слабо; наиболее крупные из них приурочены к основаниям ордовика и девона. Верхнему ордовика – силуру соответствует серия крупных разновозрастных органогенных сооружений – карбонатных платформ с унаследованным характером развития [32]. Мощность осадков оценивается в 3,5–4,5 км.

В Западном Саяне карбонатно-терригенные отложения ордовика и силура приурочены к осевой части крупного раннепалеозойского прогиба, имеют мощность 10–12 км и отвечают менее устойчивым условиям седиментации. В разрезах фиксируются частые внутриформационные размывы, выпадения отдельных интервалов, обусловленные осцилляцией границ палеобассейна. Нижнему и среднему ордовика соответствует перерыв в осадконакоплении. Для верхнеордовикских отложений характерны мелководный облик, существенно терригенный состав, присутствие единичных покровов низкотитанистых базальтоидов и олистостромовых горизонтов.

В восточных районах АССО (Кузнецко-Саянская, Восточно-Саянская, Тувинская складчатые системы), претерпевших интенсивные тектонические деформации и массовую гранитизацию в среднем кембрии – начале ордовика, ордовик-силурийские отложения распространены ограниченно. Их выходы тяготеют к восточному обрамлению охарактеризованной выше области устойчивого осадконакопления, известны в Кузнецком Алатау, Горной Шории, Восточном Алтае и на северо-западе Тывы, где они выполняют серию небольших прогибов, впадин и грабенов, наложенных на раннекаледонские структуры. Разрезы редуцированы, расчленены серией структурных несогласий, сопряженных с длительными перерывами в осадконакоплении, наиболее значимое из которых приурочено к ос-



нованию комплекса. Силурийские образования, за редким исключением, отсутствуют.

Наиболее полно ордовик-силурийские отложения представлены в Хемчикско-Систигхемском прогибе (Тыва) и в обрамлении Уймено-Лебедского (восточная часть Алтая). В последнем случае их мощность оценивается в 7–8 км, быстро сокращается в северо-восточном направлении, достигая 2,5 км вблизи южной границы Кузбасса. Основу отложений составляет морская моласса. Преобладают серые, реже пестроцветные терригенные породы с широким участием грубообломочных фаций. Доля карбонатных осадков незначительна. Нижняя граница моласс диахронная, в некоторых районах Алтая и Горной Шории опускается до уровня верхних горизонтов среднего кембрия.

На севере Кузнецкого Алатау, в Восточном Алтае и северо-западной части Восточного Саяна к локальным тектоническим структурам приурочены проявления бимодальных вулканических комплексов повышенной щелочности (трахибазальты, трахиандезиты, трахириолиты, трахиты). Их возраст в Кузнецком Алатау и Восточном Алтае обоснован сборами нижнеордовикского и нижнесилурийского комплексов фауны соответственно, в Восточном Саяне – датированием прорывающих покровные фации комагматических гранитоидов с изотопным возрастом 450–427 млн лет.

Нижний – средний девон

Нижне-среднедевонский период отвечает этапу интенсивного субаэрального вулканизма в условиях активной континентальной окраины, представлен мощным комплексом вулканогенно-осадочных отложений, которыми выполнены наложенные на раннекаледонские структуры, а также в той или иной степени унаследованные от поздних каледонид прогибы, впадины, вулканотектонические депрессии и грабены. В Кузнецко-Саянской, Восточно- и Западно-Саянской СС среднедевонские отложения после крупного перерыва в осадконакоплении со структурным несогласием перекрывают дислоцированные комплексы раннего палеозоя. На Салаире и в Горном Алтае они с размывом, в некоторых районах Алтая с перерывом, но без углового несогласия залегают на разных горизонтах силура.

Нижняя и верхняя границы комплекса диахронны. Наиболее ранние проявления вулканических пород (ложков) фиксируются в Западном Саяне, массовый вулканизм приурочен к началу эмса. В некоторых районах Северо-Западного Алтая вулканы отсутствуют и карбонатно-терригенное осадконакопление без признаков вулканической деятельности и почти без перерыва продолжалось с силура вплоть до эйфеля, а на Салаире – до верхнего девона.

Отложения представлены вулканическими и вулканогенно-осадочными субаэральными фация-

ми, терригенными породами, редкими горизонтами известняков. К основанию разреза приурочена толща красноцветных терригенных, часто грубообломочных осадков с быстро варьирующей мощностью в интервале от 0 до 1000 м и более.

Вулканизм носит ареальный характер. Изменение составов пород отражает тектоническую зональность активной континентальной окраины андского типа со сменой надсубдукционного магматизма обстановками тылового рифтогенеза в направлении с запада на восток. В Горном Алтае (Салаиро-Алтайская, Монголо-Алтайская складчатые системы) преобладают дифференцированные дацитриолитовые, базальт-андезит-риолитовые и другие вулканические комплексы повышенной и нормальной щелочности, аналогичные современным образованиям окраинно-континентальных вулканоплутонических поясов. К востоку, в Кузнецко-Саянской и Западно-Саянской системах они сменяются бимодальными ассоциациями повышенной щелочности и щелочными, которыми выполнены обрамление Кузнецкого, Минусинского и Тувинского прогибов, многочисленные мелкие вулканотектонические структуры в их обрамлении.

Щелочность пород повышается в восточном направлении, достигая максимума на восточном крыле и в северной части Минусинского прогиба, где широко распространены нефелиновые породы в составе трахит-тефрит-трахибазальтового и трахириодацит-трахит-трахибазальтового (с фонолитами) комплексов [43]. В Горной Шории проявлена ультракалиевая трахибазальт-эпилейцит-фонолитовая ассоциация.

Средний девон – нижний карбон

В Восточно-Саянской, Тувинской, Кузнецко-Саянской системах и основной части Западно-Саянской интенсивный вулканизм завершился к концу эмса, в Горном Алтае (Монголо-Алтайская, Салаиро-Алтайская системы) – в эйфеле – живете. Нижне-среднедевонские вулканогенно-осадочные комплексы после небольшого перерыва в осадконакоплении с размывом и стратиграфическим несогласием перекрываются толщей терригенных и терригенно-карбонатных моласс, накопление которых происходило в условиях межгорных прогибов. Разрезы охватывают интервал от живета до нижнего карбона (визе), в ограниченных объемах включают вулканические породы, отличаются значительной литологической неоднородностью. В направлении с запада на восток наблюдается смена прибрежно-морских фаций континентальными.

В западных районах (Салаиро-Алтайская складчатая система, обрамление Кузнецкого прогиба) среди девонских отложений преобладают сероцветные, реже пестро- и красноцветные карбонатно-терригенные мелководно-морские осадки, незначительно (живет, фран) развиты эффузивные, пирокластические и осадочно-пирокластические

фации. Мощность девонских отложений на Алтае оценивается в 1400–2000 м.

На Салаире и в обрамлении Кузнецкого прогиба девонский разрез наращивается нижнекаменноугольной (турне и визе) толщей (300–600 м) темных битуминозных органогенно-детритовых, редко оолитовых известняков, глинистых известняков и туфоизвестняков с обильной примесью вулканического пепла кислого состава. Общая мощность среднедевонско-нижнекаменноугольных осадков здесь составляет 700–1300 м, сокращаясь на Салаире до 500–700 м за счет редукции средне- и верхнедевонской частей разреза.

В юго-восточной части Горного Алтая (Монголо-Алтайская система) северная часть Делюно-Юстыдского прогиба выполнена мощным (до 3100 м) комплексом относительно глубоководных флишеподобных осадков среднего – верхнего девона. В крупном живетско-франском седиментационном цикле регрессивной направленности наблюдается смена снизу вверх по разрезу типично морских фаций прибрежно-континентальными.

В восточных районах АССО (Минусинский и Тувинский прогибы) прибрежно-морские отложения сменяются пестро- и красноцветными лагунно-континентальными и прибрежно-континентальными фациями. Преобладают терригенные осадки с редкими маломощными горизонтами известняков. К верхнему живету приурочена обширная морская трансгрессия, которой в Минусинском прогибе соответствует толща серых органогенных известняков мощностью около 300 м.

Нижний карбон представлен лагунно-континентальным осадочно-пирокластическим комплексом (1000–1200 м) с повышенной относительно верхнедевонских пород «мористостью» разрезов. Наряду с субаэральными пестроцветными отложениями здесь заметную роль играют серо-зеленые фации аллювиально-озерного, лагунного и морского генезиса. Широко распространяются пепловые туфы, туффиты кислого состава, туфопесчаники и туфоалевролиты.

Нижний карбон – пермь

Период с серпуховского века до верхней перми – время накопления мощных угленосных моласс, которыми выполнен основной объем Кузнецкого прогиба и центральные части Минусинского и Тувинского. Угленосный комплекс с размывом, конгломератами в основании согласно (в Тувинском прогибе – с перерывом) залегает на визейских отложениях, представлен полимиктовыми песчаниками и алевролитами, в меньшей степени аргиллитами и пластами каменных углей. Конгломераты и гравелиты тяготеют к базальным горизонтам крупных седиментационных циклов (серий, подсерий). Встречаются монтмориллонитовые прослои. Угли составляют 1–6% от общего объема разрезов, в некоторых свитах Кузнецкого прогиба их доля возрастает до 20–25%.

В Кузнецком бассейне угленосные отложения расчленены (снизу вверх) на балахонскую (нижний карбон – нижняя пермь) и кольчугинскую (средняя – верхняя пермь) серии, представляющие собой крупные ритмы осадко- и угленакопления.

Максимальная мощность отложений в наиболее полных, тяготеющих к осевой и западной частям Кузнецкого прогиба, разрезах приближается к 7000–8000 м, в Минусинском прогибе составляет 1120 м, Тувинском – 600 м.

Нижний – средний триас

Отложения известны только в Кузнецком прогибе, где представлены трахибазальтовой трапповой формацией. Они образуют вулканотектоническую депрессию в центральной части прогиба, согласно залегают на угленосных отложениях верхней перми, с размывом и структурным несогласием перекрываются осадками нижней юры, представлены чередованием осадочных, вулканогенно-осадочных пород и двумя пачками базальтовых покровов, сопровождаются силлами и дайками долеритов. Максимальная мощность отложений достигает 1475 м, суммарная мощность эффузивных фаций – 1000 м [24].

Среди лав преобладают афировые и мелкопорфировые высококремнистые ($\text{SiO}_2 = 52\text{--}54\%$), высокожелезистые базальты, переходные от толеитовой серии к субщелочной. Менее развиты трахибазальты и оливин-нормативные базальты. Все они характеризуются невысокой глиноземистостью (около 15% Al_2O_3), повышенной титанистостью (в среднем около 1,9% TiO_2), высоким содержанием фосфора (0,4–1,77% P_2O_5), преобладанием натрия над калием. По составу породы наиболее близки к инициальным базальтам Норильского района Сибирской платформы и ранне-среднетриасовым базальтоидам фундамента Западно-Сибирской плиты [7].

Юра

Представлена угленосной молассой, которой выполнены отдельные впадины в Кузнецком, Минусинском и Тувинском прогибах, а также мелкие приразломные грабены. Отложения охватывают интервал от нижней до верхней юры и нижнего мела, с перерывом и структурным несогласием перекрывают разновозрастные доюрские образования, представлены ритмичным чередованием конгломератов, песчаников, алевролитов, аргиллитов, углистых аргиллитов, пластами каменных и бурых углей. Осадки характеризуются фациальной изменчивостью, высокой зрелостью кластического материала, низкой и средней угленосностью, в отдельных интервалах – до очень высокой (0,7–38%). Пласты угля вместе с вмещающими породами образуют пачки мощностью 5–100 м.

Промышленной угленосностью отличается Улуг-Хемская впадина в центральных районах Тывы, выполненная угленосной лимнической формацией мощностью более 3500 м. Угли при-



урочены к нижнеюрской толще (1500 м), которая содержит восемь рабочих пластов суммарной мощностью 20 м. Основной пласт «Улуг» мощностью 2,0–19,0 м прослежен на дневной поверхности более чем на 70 км.

Мел – палеоген

Проявления этих образований в АССО скудны, представлены фрагментами меловых, мел-палеогеновых кор выветривания и продуктами их переотложения, сохранившимися на древних поверхностях выравнивания в виде разрозненных выходов в западинах древнего рельефа. На севере Кузнецкого Алатау, вблизи границы с Западно-Сибирской плитой с ними связаны проявления гидраргиллитовых бокситов, лимонитовых руд, красителей и огнеупорных глин.

Кайнозой

Представлен континентальными терригенными образованиями. В Горном Алтае, Тыве и юго-восточной части Восточного Саяна распространены ледниковые и водно-ледниковые отложения четвертичного вулканические породы.

Выделяются три крупных этапа кайнозойского вулканизма: позднеолигоцен-раннемиоценовый (28–23 млн лет), среднемиоценовый (18–14 млн лет) и голоценовый (2,1 млн лет и менее) [3, 41]. Самые ранние проявления представлены тефритами Уюкского вулканического поля (150 км северней г. Кызыла), К-Аг возраст которых составляет 28 млн лет. Наиболее масштабные вулканические события фиксируются в интервале от 14–18 млн лет до 50 тыс. лет и приурочены к Восточно-Тувинскому ареалу (лавовому плато). Преобладают лавы трахибазальтов, тефритов, реже базанитов; пирокластические породы редки, присутствуют гиалокластиты, указывающие на внутриледниковые излияния.

Состав базальтоидов свидетельствует о внутриплитном рифтогенном характере магматизма, обусловленном деятельностью кайнозойского мантийного плюма. В. В. Ярмолюк обосновал принадлежность Восточно-Тувинского ареала к Южно-Байкальской вулканической области [25].

Метаморфизм

Метаморфические комплексы в Алтае-Саянской складчатой области (АССО) представлены многочисленными тектоническими блоками, большей частью приуроченными к крупным тектоническим швам. Кроме того, в Восточном Саяне ими сложены Канский кристаллический массив и основание Дербинского блока. Уровень преобразования пород изменяется от амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций до зеленосланцевой умеренных и повышенных давлений. Возраст метаморфизма оценивается в интервале от раннего протерозоя до среднего палеозоя.

Самые древние, раннедокембрийские породы приурочены к *Восточно-Саянской СС*, где участвуют в строении Канского гетерогенного кристаллического массива. По результатам геолого-геохимических и изотопных исследований [16, 28, 39], в его составе выделяются Канский (Центральный) и Идарский раннепротерозойские зеленокаменные пояса (ЗКП) и Шумихинский палеовулканический пояс позднерифейского возраста.

Идарский ЗКП на северо-востоке массива сложен амфиболитами и гранатовыми амфиболитами с горизонтами тремолит-серпентинитовых пород, амфиболовыми и биотитовыми гнейсами, которые по составу отвечают коматиит-базальтовой, лейкобазальт-андезитбазальтовой ассоциациям и грауваккам основного состава. Их сочетание предполагает образование протолитов в океанической обстановке. Метакоматиит-базальтовая ассоциация сопровождается гипербазитами и расслоенными интрузиями кингашского комплекса с изотопным (SHRIMP-II) возрастом 1952 ± 16 млн лет, несущими сульфидное медно-никелевое оруденение.

Канский (Центральный) ЗКП, занимает центральную и юго-восточную части кристаллического массива, представлен амфиболитами, биотитовыми и амфибол-биотитовыми гнейсами с возрастом субстрата 2226 ± 69 млн лет [39]. Составы амфиболитов близки высокомагнезиальным толеитам океанических островов (OIT) и базальтам срединно-океанических хребтов (MORB), гнейсов – андезит-дацит-риодацитовой ассоциации и грауваккам энсиалических островных дуг.

Шумихинский палеовулканический пояс (террейн) на северо-западе Канского кристаллического массива представлен плагиогнейсово-амфиболитовым комплексом эпидот-амфиболитовой фации повышенных давлений. Субстратом пород служили островодужно-толеитовая серия и океанические толеиты задугового бассейна с возрастом 680–700 млн лет [28]. Время главного метаморфического события для всего Канского массива оценивается в 555–550 млн лет.

В Дербинском блоке плагиогнейсово-кристаллосланцевый комплекс составляет основание вендских мраморов. Рифейский возраст протолита метаморфических пород принимается условно с учетом их структурного положения. Возраст метаморфизма по данным Ar-Ag исследований оценивается в 508–484 млн лет.

В *Кузнецко-Саянской СС* блоки метаморфических пород эпидот-амфиболитовой, реже зеленосланцевой фаций известны в Кузнецком Алатау, где они приурочены к шовной зоне Кузнецко-Алтайского разлома и представлены метабазитовыми ассоциациями. Их состав отвечает MORB и OIB, реже островодужным базальтоидам – толеитовым (IAT) и низкокалийевым известково-щелочным (LK-CAB). Sm-Nd-изохронный возраст метаморфизма и субстрата амфиболитов



Томского блока на юге Кузнецкого Алатау составляет 694 ± 43 млн лет [27].

На *Салаире* субстратом амфиболитов и гранатовых амфиболитов (Ангурепский и Бехтемирский блоки на юге кряжа) служили островодужно-толеитовая и низкокалиевая известково-щелочная серия, а также MORB и OIB. Для них установлены неопротерозойский (около 700 млн лет) эклогитовый и раннепалеозойский (485 млн лет) амфиболитовый этапы метаморфизма (неопубликованные данные С. А. Каргополова).

На *Алтае* и в *Западном Саяне* (Салаиро-Алтайская, Монголо-Алтайская и Западно-Саянская складчатые системы) преобладают метабазит-метапелитовые, реже метабазитовые комплексы амфиболитовой и зеленосланцевой фаций умеренных и повышенных давлений.

Амфиболитовые и эпидот-амфиболитовые комплексы повышенных давлений включают амфиболиты, гранатовые амфиболиты, эклогиты, кианитовые и глаукофановые сланцы, мраморы. На юго-востоке Горного Алтая они тесно ассоциируют с позднедокембрийскими гипербазитами и метабазальтоидами, совместно с которыми входят в состав меланжевого комплекса. Ar-Ar-возраст эклогитового метаморфизма составляет 627–636 млн лет.

Метаморфические комплексы амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций умеренных давлений представлены гнейсово-кристаллосланцевыми метапелитовыми ассоциациями, сложены гнейсами и кристаллосланцами при участии амфиболитов, слюдястых и железистых кварцитов, мигматитов и гранитогнейсов. Субстратом служат аркозы, субграувакки, глины, зеленосланцевые метаморфические и флишоидные комплексы, преимущественно позднего докембрия – кембрия.

Как правило, устанавливается полиметаморфическая природа комплексов. Первый этап преобразования фиксируется по реликтам пород дистен-силлиманитовой серии, условно датируется поздним рифеем, так как продукты разрушения метаморфитов попадают в терригенные и карбонатные породы с возрастом от венда до нижнего кембрия.

Второй этап представлен андалузит-силлиманитовой серией с широким участием мигматитов, тоналито- и гранитогнейсов. В Восточном Алтае и Западном Саяне проявлен высокоградиентный термально-купольный метаморфизм, наложенный на венд-кембрийские турбидитовые, вулканогенно-осадочные и зеленосланцевые образования. Устанавливается тесная связь метаморфических преобразований с высокоглиноземистыми раннедевонскими гранитоидами. Граниты и метаморфические породы образуют разнопорядковые гранитогнейсовые обрамленные купола.

Тектонотермальная история наиболее полно изучена для южночуйского амфиболит-гнейсово-кристаллосланцевого полиметаморфического комплекса одноименного блока на юге Алтая [29, 40].

Здесь для кианит-силлиманитового метаморфизма первого этапа установлен возраст 555 ± 6 млн лет, андалузит-силлиманитового – от 380 ± 19 до 387 ± 51 млн лет. В качестве возраста субстрата принимается усредненный возраст детритовых цирконов, который составляет 1684 ± 210 млн лет, что согласуется с модельным Nd-возрастом пород 1300–1500 млн лет.

Зеленосланцевые и глаукофан-зеленосланцевые комплексы образуют серию тектонических блоков и выступов, тяготеющих к региональным разломам (Чарышско-Терехтинскому, Телецкому, Северо-Саянскому и др.), представлены сложно дислоцированными плейчатými метапелит-метабазитовыми, метабазит-метапелитовыми и метапелитовыми ассоциациями. Большей частью они имеют тектонические ограничения, в Западном Саяне на некоторых участках согласно перекрыты флишоидными терригенными осадками кембрия.

Преобладают метатерригенные (апопсаммитовые, апоалевритовые) и метакарбонатно-терригенные разновидности с прослоями и линзами мраморов и кварцитов. Породы отличаются слабым и неравномерным метаморфизмом пренит-пумпеллитовой фации, широким распространением реликтовых бластообломочных структур и ритмично-слоистых текстур, монотонностью состава.

Метабазитовые сланцы (апоэффузивные и апотуфогенные) и тесно ассоциирующие с ними метасилициты распространены неравномерно, на некоторых участках преобладают, местами полностью замещаются метатерригенными фациями, тяготеют к средней и верхней частям разрезов, по составу близки MORB и OIB. Породы отличаются однородным метаморфизмом биотитовой субфации; реликтовые офитовые структуры улавливаются лишь в единичных случаях.

С метабазитами в Горном Алтае и Западном Саяне связаны проявления высокобарного метаморфизма с образованием глаукофановых и актинолитовых сланцев с винчитом и кросситом. В результате датирования фенгита и глаукофана из глаукофановых сланцев Горного Алтая получен возраст 493–483 млн лет, совпадающий с временем аккреционно-коллизийных событий в АССО на рубеже кембрия и ордовика [2].

Наиболее распространенная точка зрения предполагает образование зеленосланцевых комплексов за счет метаморфизма турбидитовых и вулканогенно-осадочных комплексов венда – кембрия. Она обосновывается узнаваемостью в зеленосланцевых разрезах характерных элементов строения и состава турбидитовых осадков (циклическое строение, текстурные особенности), схожестью петрогеохимических характеристик метабазитовых сланцев и пространственно сопряженных с ними базальтоидных комплексов неопротерозоя – раннего кембрия. Среди зеленых сланцев собраны остатки анабаритид, водорослей, микрофоссилий



неопротерозоя – нижнего кембрия. Для отдельных зеленосланцевых блоков на востоке Горного Алтая, отличающихся наиболее интенсивным (биотитовая субфация) и однородным метаморфизмом, не исключается более древний возраст.

Ассоциация с турбидитовыми и офиолитовыми комплексами, присутствие метабазитов с характеристиками OIB, MORB и проявлений высокобарного метаморфизма позволяют рассматривать зеленосланцевые комплексы в качестве аккреционно-субдукционных образований.

Интрузивный магматизм

В Алтае-Саянской складчатой области интрузивный магматизм охватывает интервал от раннего протерозоя до юры, связан с заложением и эволюцией вулканоплутонических поясов, аккреционно-коллизийными событиями и анорогенными обстановками. Преобладают гранитоидные ассоциации. При этом раннепалеозойские интрузии приурочены к восточным районам АССО (Кузнецкий Алатау, Горная Шория, Восточный Саян и Тыва), а основной объем среднепалеозойских и мезозойских гранитоидов приходится на Горный Алтай и Западный Саян.

Наиболее ранние, карельские диорит-плагиогранитные интрузии, образование которых связывается с коллизийной обстановкой, приурочены к Канскому блоку, расположены среди метаморфических пород Центрального террейна с изотопным возрастом 1866 ± 17 млн лет [16]. Раннепротерозойский возраст плагиогранитов подтвержден U-Pb датированием и составляет около 1,7 млрд лет [42].

Среди раннепалеозойских интрузий выделяются нижнекембрийские габброплагиогранитные серии, комагматичные вулканитам первого этапа эволюции раннепалеозойских палеоостроводужных структур. Они включают перидотит-пироксенит-габброноритовые и плагиогранитные комплексы, наиболее широко представленные и хорошо изученные в Западном Саяне [34]. Нижнекембрийский возраст пород обоснован изотопным датированием плагиогранитов [9, 38].

Наиболее масштабные проявления раннепалеозойского гранитоидного магматизма приурочены к восточным районам АССО (Кузнецко-Саянская и Тувинская складчатые системы), охватывают интервал от среднего кембрия до ордовика, связываются с аккрецией палеоостроводужных и окраинно-морских структур к краю Сибирского кратона.

Гранитоиды слагают крупные удлиненные в плане син- и послескладчатые ареал-плутоны, распределение которых носит отчетливый поясовый характер. Интрузивный пояс прослеживается из северной части Кузнецкого Алатау через Восточный Саян и Северо-Восточную Тыву в ее южные районы, ограничивая с востока область позднекембрийско-силурийской седиментации, подразделяется на Кузнецко-Алатауский, Восточно-Саянский и Тувинский сегменты.

Преобладают известково-щелочные гранитоиды повышенной основности и меланократовости с реликтами глубоко преобразованных пород рамы; типичны диорит-тоналитовые, диорит-тоналит-гранодиоритовые, диорит-гранодиоритовые ассоциации [11, 36, 46]. Их внедрение предваряется небольшими объемами лейкобазитов. В наиболее изученных районах Кузнецкого Алатау и Горной Шории [4, 30] намечается зональное строение гранитоидного пояса с увеличением интенсивности, щелочности и длительности магматизма в направлении с запада на восток. По данным изотопного датирования, становление ареал-плутонов носит многоимпульсный характер в интервале 505–430 млн лет.

Наиболее ранние (лохков) проявления среднепалеозойских гранитов приурочены к Западному Саяну и восточным районам Горного Алтая. Подавляющее большинство массивов расположено в пределах Главного гранитоидного пояса Западного Саяна протяженностью 700–750 км при ширине 50–65 км. Выделяются два этапа внедрения интрузий с повышением лейкократовости ассоциаций от габбродиорит-гранодиоритовой до гранодиорит-гранит-лейкогранитовой. Они прорывают фаунистически охарактеризованные отложения силура и вулканиты лохкова, присутствуют в гальках базальных конгломератов пражского яруса. Данные изотопного датирования (U-Pb) гранитов укладываются в интервал от $417,5 \pm 8,6$ до $417,5 \pm 1,5$ млн лет [45].

Становление интрузий сопровождается высокоградиентным термально-купольным метаморфизмом. Петрогеохимические характеристики свидетельствуют о принадлежности пород к S-гранитам коллизийных обстановок.

Более поздние ранне- и среднедевонские малоглубинные интрузии сформированы в рамках вулканоплутонических поясов на завершающих этапах эмс-эйфельского и живетского вулканизма. Особенности их составов согласуются с составами сопряженных вулканитов.

В Горном Алтае дифференцированные вулканические ассоциации с преобладанием риолитоидов завершаются становлением габбро-диорит-гранодиоритовых и граносиенит(гранодиорит)-гранит-лейкогранитовых комплексов нормального и субщелочного рядов раннего – среднего и среднего – верхнего девона [47]. Их полнота и уровень щелочности варьируют от ареала к ареалу. Наиболее поздние фазы в некоторых случаях сложены щелочными гранитами. Породы близки I- и A-, реже S-гранитам. Их возраст обоснован изотопным датированием, результаты которого для ранне-среднедевонских ассоциаций укладываются в интервал от 369 ± 10 до $398 \pm 6,1$ млн лет, средне-позднедевонских – от $340,6 \pm 2,5$ до $398 \pm 6,1$ млн лет [22, 30, 45, 49].

В восточных районах АССО (Кузнецкий Алатау, Горная Шория, Минусинский прогиб, Восточный Саян) раннедевонский субщелочной и щелочной

вулканизм сопровождается внедрением габбро-сиенитовых, щелочно-гранитовых и щелочно-сиенитовых интрузий гипабиссальной фации. К северным частям Кузнецкого Алатау и Минусинского прогиба приурочены интрузии щелочных габброидов с ийолитами, уртитам и нефелиновыми сиенитами [44]. Раннедевонский возраст пород обосновывается комагматичностью с щелочными вулканитами нижнего девона, подтвержден U-Pb датированием цирконов и бадделеита из щелочных сиенитов и ийолитов, возраст которых составляет от $392,7 \pm 4,8$ до $412,0 \pm 2,8$ млн лет, достигая $384 \pm 5,1$ млн лет [9, 20].

Завершается среднепалеозойский магматизм в АССО позднедевонско-раннекаменноугольными интрузиями Горного Алтая, представленными габбро-диорит-гранодиоритовой и гранит-лейкогранитовой сериями [6]. Породы близки S-, I-, реже A-гранитам, в некоторых случаях приближаются к плюмазитовым редкометалльным гранитоидам. Их образование связывается с коллизионными процессами на западной границе Алтае-Саянской области. Многочисленные определения изотопного (U-Pb) возраста укладываются в интервал от $372,1 \pm 1,7$ до 362 ± 4 млн лет [22, 30, 45].

Позднепалеозойско-мезозойские интрузии представлены гранитоидами, которые наиболее широко распространены в Горном Алтае, присутствуют на Салаире и в Кузнецком Алатау. Незначительные проявления мантийного магматизма фиксируются на севере Минусинского прогиба и в Тыве.

В Горном Алтае граниты приурочены к позднепалеозойско-раннемезозойскому и юрскому этапам. С первым из них связано формирование батолитов известково-щелочных, реже субщелочных гранитоидов и небольших массивов сиенит-граносиенит-лейкогранитового состава. Они образуют серию очаговых ареалов в Западном, Центральном, Северном и Восточном Алтае, несут Sn-W-Ta-Li оруденение. Часть из них по геохимическим особенностям близка к редкометалльно-плюмазитовым разновидностям. Изотопный возраст пород составляет от $249 \pm 5,7$ до $232 \pm 4,7$ млн лет [22, 35, 45].

К ранней юре приурочено становление редкометалльных плюмазитовых гранитоидов. Ими сложено более десятка небольших массивов на юге Горного Алтая, основной объем (90%) которых составляют биотитовые и двуслюдяные граниты. Поздняя фаза представлена литий-фтористыми ультраредкометалльными разновидностями (эльваны, онгонитоподобные микрогранит-порфиры (калгутиты), сподуменовые аплиты и гранит-порфиры). Изотопный возраст пород варьирует от $204 \pm 7,8$ до $182,9$ млн лет [30, 35, 45].

К другим проявлениям позднепалеозойско-мезозойского магматизма относятся проявления гранитов и лейкогранитов с мантийными изотопными характеристиками на юге Кузнецкого Алатау [27], возраст которых составляет 246 млн лет. На северо-западной окраине Минусинского прогиба установ-

лены щелочно-базальтовые трубки взрыва и дайки с возрастом 79–45 млн лет на [51]. В Тыве известны карбонатитовые интрузии, Rb-Sr возраст которых варьирует в интервале 121–90 млн лет.

История геологического развития

В истории развития региона выделяется 11 этапов, в ходе которых сформированы современная структура и земная кора Алтае-Саянской области.

Ранний протерозой. Для него по фрагментам метаморфических комплексов Восточно-Саянской складчатой системы реконструируются условия энсиалических островных дуг и задуговых бассейнов, эволюция которых завершается коллизией с Сибирским кратоном и внедрением диорит-плагиогранитных интрузий на рубеже карелия и рифея (1,7 млрд лет).

Поздний рифей. Для данного этапа устанавливаются обстановки срединно-океанических хребтов, океанических поднятий и островных дуг, отражающие эволюцию Палеоазиатского океана в интервале 700–800 млн лет. К границе рифея и венда приурочена байкальская складчатость: скучивание и метаморфизм геологических комплексов, формирование составных террейнов, объединяющих метаморфизованные ассоциации MORB, океанических поднятий и островных дуг. Блоки гнейсово-кристаллосланцевых метapelитовых комплексов Горного Алтая и Западного Саяна могут рассматриваться в качестве метаморфизованных осадков позднерифейского палеобассейна либо фрагментов Алтае-Монгольского докембрийского микроконтинента.

Венд. Его началу отвечает перерыв в осадконакоплении, после которого на территории АССО вновь реконструируются океанические обстановки, включающие систему активных и пассивных океанических поднятий, разделенных абиссальными котловинами. Океанические обстановки фиксируются по офиолитовым ассоциациям Салаира, Горного Алтая, Кузнецкого Алатау и Западного Саяна, возраст которых устанавливается в интервале от венда до раннего кембрия. Состав базальтов офиолитовых разрезов аналогичен современным MORB и OIB. Пассивные океанические поднятия представляют собой фрагменты составных террейнов позднебайкальской, возможно, более ранней консолидации. На их вершинах формируются карбонатные платформы.

Ранний – средний кембрий. К границе венда и раннего кембрия приурочено заложение Алтае-Саянской палеоостроводужной системы, включающей энсиматические вулканические островные дуги и задуговые (междуговые) бассейны. Палеоостроводужные комплексы картируются на Салаире, в южной части Горной Шории, Западном Саяне и Тыве, где выделены в качестве Салаирского, Алтае-Северо-Саянского и Тувинского магматических поясов [1, 22]. Активная вулканическая деятельность фиксируется на протяжении раннего и среднего кембрия,



на Салаире она продолжалась до раннего ордовика. К середине нижнего кембрия приурочена структурная перестройка палеоостроводужных структур со сменой активного толеитового вулканизма на вяло текущий известково-щелочной и субщелочной, подводных эффузивных и пирокластических фаций – на пестроцветные субаэральные пирокластические, вулканогенно-осадочные и осадочные ассоциации с обилием рифогенных массивов. Перестройка сопровождается перерывом в осадконакоплении, широким развитием грубообломочных пород, включая валунные конгломераты с гальками и валунами подстилающих вулканитов, габброидов и плагиогранитов первого этапа. Возможной причиной этих событий стало частичное или полное закрытие задуговых бассейнов.

К западу от зоны активного островодужного вулканизма располагается обширная область (палеобассейн) кембрийско-раннеордовикского турбидитного осадконакопления. Его фрагменты, интенсивно деформированные и метаморфизованные обычно в пренит-пумпеллитовой и зеленосланцевой фациях, распространены на территории Горного Алтая, Западного Саяна и Салаира. С востока палеобассейн ограничен раннепалеозойскими палеовулканическими структурами Салаира, Западного Саяна и Тывы, с запада – дизъюнктивами Северо-Восточной зоны смятия. Особенности строения и состава турбидитовых отложений позволяют идентифицировать их в качестве фаций склона островной дуги и глубоководного желоба.

К востоку и северу от Салаирской и Алтае-Северо-Саянской палеоостроводужных структур располагается область задугового бассейна (Кузнецко-Саянская складчатая система), в строении которого выделяются зоны спрединговых впадин с активным магматизмом и амагматичные области терригенно-карбонатного осадконакопления в условиях шельфа. Первые приурочены к западной части складчатой системы, характеризуются вулканогенно-осадочными разрезами, широким развитием базальтов (OIT, OIAB и MORB) и черных сланцев, присутствием гипербазитов и ультрабазит-базитовых интрузий, в совокупности образующим офиолитовые ассоциации Кузнецкого Алатау, Горной Шории и Горного Алтая. Область терригенно-карбонатного осадконакопления располагается восточнее, отличается преобладанием карбонатных фаций, широким развитием рифогенных известняков, присутствием варьирующих по объему терригенных пород и сланцев.

Средний кембрий – ранний ордовик и ордовик – силур. К интервалу от майского века до начала ордовика приурочены интенсивные деформации геологических комплексов и палеоструктур, связанные с амальгамацией и поэтапным привлечением островодужных террейнов к Сибирскому палеоконтиненту, их коллизией с докембрийскими микроконтинентами. В ходе этих процессов сфор-

мирована раннепалеозойская аккреционная окраина Сибири.

К этому времени относится заложение структурного плана Алтае-Саянской области, окончательное закрытие задуговых бассейнов, формирование надвигов, офиолитовых аллохтонов и сутур Кузнецкого Алатау, Западного Саяна и Салаира. Оформляются основные морфоструктурные черты каледонских складчатых систем, ансамбль антиклинориев и синклинориев, намечается разломная сетка. Деформации сопровождаются синскладчатым метаморфизмом зеленосланцевой фации турбидитовых комплексов Западного Саяна и Салаира.

При этом возникают области двух типов, различие в тектонической эволюции которых обусловлено более высокой концентрацией докембрийских микроконтинентов в восточной части АССО. Кузнецкий Алатау, Восточный Саян, Тыва в кембро-ордовикское время были охвачены массовой гранитизацией, следствием чего явились консолидация земной коры, воздымание территории, оформление горно-складчатого сооружения, полное прекращение седиментации к позднему кембрию – ордовик. Образовавшиеся структуры относят к ранним каледонидам (салаиридам). Гранитоиды образуют интрузивный пояс, ограничивающий с востока область поздних каледонид [1].

Западные районы – Салаир, Горный и Монгольский Алтай, Западный Саян – полностью амагматичны, составляют обширную область седиментации. Складчатость проявлена слабее. До позднего кембрия – раннего ордовика здесь продолжалось формирование турбидитовой толщи, которое после небольшого перерыва сменилось осадконакоплением в условиях шельфа пассивной континентальной окраины, длившимся вплоть до раннего, в некоторых районах Алтая – среднего, на Салаире – позднего девона. В направлении с запада на восток намечается смена рифовых фаций прибрежно-лагунными. В целом эти структуры традиционно рассматриваются в качестве поздних каледонид.

К концу силура – началу девона приурочены коллизионные события вблизи юго-западного обрамления аккреционной окраины Сибирского палеоконтинента – в Обь-Джунгарской ветви Палеоазиатского океана: коллизия Чингиз-Тарбагатайской ордовик-силурийской островодужной системы и террейна Тангбалэ с более ранними аккреционными комплексами, обособление Казахстана в качестве составного микроконтинента, реорганизация системы субдукционных зон [14]. Наиболее интенсивными тектоническими деформациями в этой связи на границе прагиена и эмса охвачены районы Горного Алтая и Западного Саяна. Они сопровождаются мощными правосдвиговыми дислокациями вдоль Северо-Саянской зоны разломов, становлением габбро-диорит-гранодиоритовых и гранит-лейкогранитовых интрузий в Восточном Алтае и Западном Саяне, рудоносных (железо) гранитоидов



повышенной меланократовости и щелочности в Кузнецком Алатау и Горной Шории.

Тектоническая перестройка повлекла смену условий шельфового осадконакопления на режим активной континентальной окраины.

Ранний – средний девон. Определяющими для девонского этапа являются заложение и эволюция вулканоплутонического пояса, размещение и строение которого автономны по отношению к раннепалеозойским структурам. Состав вулканоплутонических ассоциаций отражает тектоническую зональность активной континентальной окраины андского типа. Ее западные районы (Салаиро-Алтайская, Монголо-Алтайская складчатые системы, Восточный Алтай) характеризуются проявлением последовательно дифференцированных вулканических серий и коагматичных гипабиссальных гранитоидных интрузий, формирование которых связано с субдукционными процессами. Восточные районы АССО (Кузнецкий Алатау, Минусинский прогиб, Западный и Восточный Саян) с бимодальными вулканоплутоническими ассоциациями отвечают зонам тылового рифтогенеза.

С внедрением гранитоидных интрузий, завершающих ранне-среднедевонский этап тектономагматической активности, связан перерыв в осадконакоплении, прослеживающийся в основании перекрывающего вулканические структуры осадочного мегакомплекса среднего девона – раннего карбона на всей территории Алтае-Саянской области.

Средний девон – ранний карбон. В живете после небольшого перерыва активный наземный вулканизм сменяется периодом карбонатно-терригенного осадконакопления, продолжавшимся в унаследованных и наложенных прогибах вплоть до раннего карбона. При этом относительно глубоководные турбидитовые комплексы континентального склона (Монголо-Алтайская складчатая система, запад Салаира) и карбонатно-терригенные отложения Горного Алтая в восточном направлении сменяются терригенно-карбонатными фациями шельфа (север Салаира и Кузнецкий прогиб) и далее (Минусинский прогиб) – красноцветными лагунно-континентальными и озерно-аллювиальными мелкообломочными туфогенно-терригенными образованиями.

В разрезах выделяются средне-, позднедевонский и раннекаменноугольный тектоноседиментационные циклы, связанные с периодическими расширениями морского бассейна в восточном направлении. Максимальная трансгрессия приурочена к позднему живету, когда море через пролив между горно-складчатыми сооружениями Западного Саяна и Горной Шории проникало в Минусинский прогиб [9]. С раннекаменноугольным циклом совпадает усиление вулканической деятельности на сопредельных с запада и северо-запада территориях. «Туфогенно-терригенные» породы с вулканическим пеплом кислого и среднего составов широко

распространены среди нижнекаменноугольных отложений Кузнецкого, Минусинского и Тувинского прогибов.

Ранний карбон – поздняя пермь. К концу раннего карбона приурочены закрытие Обь-Джунгарской ветви Палеоазиатского океана, коллизия Сибирского и Казахстанского палеоконтинентов, деформации расположенных между ними островодужных и окраинно-морских комплексов Обь-Зайсанской складчатой области.

Интенсивных деформаций в связи с коллизионными событиями на территории АССО не установлено. Преобладают вертикальные блоковые перемещения. Фиксируются общее воздымание территории, перерыв осадконакопления в начале серпуховского века и установление континентального режима. Седиментация ограничена локальными унаследованными наиболее развитыми прогибами (Кузнецкий, Минусинский, Тувинский) и мелкими приразломными впадинами, где в условиях умеренной тектонической активности накапливаются угленосные молассы. В угле- и осадконакоплении выделяются раннекаменноугольно-раннепермская и средне-позднепермская фазы.

В Горном Алтае отражением коллизионных событий явилась мощная вспышка позднедевонско-раннекарбонного гранитоидного магматизма.

Поздняя пермь – мезозой. К этому периоду приурочены окончательное закрытие Палеоазиатского океана (его Уральской ветви), второй этап коллизии Сибирского, Восточно-Европейского и Казахстанского палеоконтинентов, интенсивные складчато-надвиговые дислокации по Салаиро-Кузнецкой и Кольвань-Томской взбросо-надвиговым системам на границе с герцинидами Обь-Зайсанской области и деформации позднепалеозойского угленосного комплекса. Дальнейшее развитие Алтае-Саянской области характеризуется угнетенным континентальным осадконакоплением в локальных структурах и внутриплитным магматизмом.

Магматизм отличается каркасным распределением, контролируется ремобилизованными «древними» и вновь образованными разломами восточно-северо-восточного и северо-северо-западного простирания, разнообразен по составу (от базальтов и карбонатитов до щелочных и литий-фтористых гранитов), выделяется уникальной редкометальной специализацией (REE, Zr, Nb, Li, F, Rb, Ba, Sr). Особенности его проявления и состава определяются существованием под Северной Азией долгоживущего (300 млн лет) Азиатского горячего поля мантии и характером его взаимодействия с литосферой.

В поздней перми – раннем триасе в Горном Алтае формируются гранитоидные батолиты. К раннему – среднему триасу в Кузнецком прогибе приурочено образование «кузбасских траппов», событийно увязывающееся с континентальным рифтогенезом в Сибири и эволюцией Сибирского суперплюма [12,



14]. Конец триаса характеризуется тектоническим затишьем, развитием кор выветривания.

С ранней юрой связано усиление тектономагматических процессов. В условиях озерно-аллювиальной равнины идет накопление угленосных моласс, фиксирующих завершающий этап эволюции Центрально-Азиатского орогена. Осадконакопление ограничено приразломными грабенами и унаследованными с позднего палеозоя надрифтовыми бассейнами (Кузнецкий, Минусинский и Тувинский прогибы). На юге Горного Алтая внедряются редкометалльные гранит-лейкогранитовые интрузии.

Интервал от поздней юры до эоцена – период покоя с эпизодами тектонической активности. Формируются пенеплены и коры химического выветривания, идет их денудация, переотложение и снос в сторону Западно-Сибирской плиты. С этапами активизации связаны воздымание территории, аккумулярование грубого аллювия, деформация мезозойских отложений, подновление и образование новых надвигов в районах Колывань-Томской зоны и Кузнецко-Алтайского сдвига [9].

Кайнозой. Олигоцен – начало гималайской коллизии и неотектонического этапа. Мощный тектонический импульс стал причиной расчленения пенеплена и оформления современного рельефа. Квартер – время активизации неотектонических процессов, эпох покровных и горно-долинных оледенений в Горном Алтае, Кузнецком Алатау, Восточном Саяне и Тыве. С внутриплитной мантийной активностью на протяжении от позднего олигоцена – раннего миоцена до голоцена связано образование Восточно-Тувинского лавового плато.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бабин Г. А., Крук Н. Н.** Петротипы каечакского базальтового, садринского плагиодацит-андезит-базальтового и атлинского андезибазальт-базальтового комплексов раннего кембрия (Горная Шория, северо-восточная часть Горного Алтая). – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2011. – 80 с.

2. **Волкова Н. И., Травин А. В., Юдин Д. С.** Ордовикский глаукофансланцевый метаморфизм в Горном Алтае и проблемы его геодинамической интерпретации // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). – Иркутск, 2003. – С. 46–50.

3. **Восточно-Тувинский** ареал новейшего вулканизма Центральной Азии: этапы, продукты и характер вулканической деятельности / В. В. Ярмолук, В. И. Лебедев, А. М. Сугоракова и др. // Вулканология и сейсмология. – 2001 – № 3. – С. 3–32.

4. **Габбро-гранитные** интрузивные серии и их индикаторное значение для геодинамических реконструкций / А. Г. Владимиров, А. Э. Изох, Г. В. Поляков и др. // Петрология. – 2013. – Т. 21, № 2. – С. 177–201.

5. **Геологическое** строение и полезные ископаемые Западной Сибири. Т. I. Геологическое строе-

ние / В. Г. Свиридов, В. И. Краснов, В. С. Сурков и др.; науч. ред. А. В. Каныгин, В. Г. Свиридов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1999. – 228 с.

6. **Геологическое** строение Манского прогиба и его положение в Саяно-Алтайских «байкалидах» / В. В. Хоментовский, В. Ю. Шенфиль, А. С. Гибшер и др. – Новосибирск: Наука, 1978. – 224 с.

7. **Геохимия** и геодинамические условия формирования траппов Кузбасса / Н. Н. Крук, А. В. Плотников, А. Г. Владимиров, В. А. Кутюлин // Докл. РАН. – 1999. – Т. 369, № 6. – С. 812–815.

8. **Гибшер А. С., Хаин Е. В., Котов А. Б.** Поздненвендский возраст хантайширского офиолитового комплекса Западной Монголии // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 8. – С. 1179–1185.

9. **Государственная** геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-45-Новокузнецк. Объяснительная записка / Г. А. Бабин, Н. И. Гусев, А. А. Юрьев и др.; гл. науч. ред. Г. А. Бабин. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2007. – 665 с. +10 вкл.

10. **Государственная** геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-46-Абакан. Объяснительная записка / В. В. Беззубцев, М. Л. Махлаев, В. Т. Кириченко и др.; гл. науч. ред. Е. П. Миронюк; ред. Ю. С. Глухов, А. К. Мкртычян. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2008. – 341 с.+5 вкл.

11. **Дистанова А. Н.** Раннепалеозойские гранитоидные ассоциации Алтае-Саянской складчатой области: их типы и индикаторная роль в палеогеодинамических реконструкциях // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41, № 9. – С. 1244–1257.

12. **Добрецов Н. Л.** Пермо-триасовые магматизм и осадконакопление в Евразии как отражение суперплюма // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 354, № 2. – С. 220–223.

13. **Добрецов Н. Л.** Правильная периодичность глаукофансланцевого метаморфизма: иллюзия или важная геологическая закономерность // Петрология. – 1999. – Т. 7, № 4. – С. 430–459.

14. **Добрецов Н. Л.** Эволюция структур Урала, Казахстана, Тянь-Шаня и Алтае-Саянской области в Урало-Монгольском складчатом поясе (Палеоазиатский океан) // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44, № 1–2. – С. 5–27.

15. **Добрецов Н. Л., Пономарева Л. Г.** Офиолиты и глаукофановые сланцы Западного Саяна и Куртушибинского пояса // Петрология и метаморфизм древних офиолитов (на примере Полярного Урала и Западного Саяна). – Новосибирск, Наука, 1977. – С. 128–156.

16. **Докембрийские** террейны юго-западного обрамления Сибирского кратона: изотопные провинции, этапы формирования коры и аккреционно-коллизионных событий / О. М. Туркина, А. Д. Ножкин, Т. Б. Баянова, Н. В. Дмитриева // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48, № 1. – С. 80–92.



17. **Зыбин В. А.** Петротип каимского базальтового комплекса раннего кембрия (Горный Алтай). – Новосибирск: СНИИГГИМС, 2012. – 116 с.
18. **Зыбин В. А.** Эталон манжерокского базальт-трахибазальтового комплекса (Горный Алтай). – Новосибирск: СНИИГГИМС, 2008. – 163 с.
19. **Известковые** водоросли и нижняя граница кембрия в западной части Алтае-Саянской складчатой области / А. А. Терлеев, В. А. Лучинина, О. В. Соосновская, Г. Н. Багмет // Геология и геофизика. – 2004. – Т. 45, № 4. – С. 485–491.
20. **Изотопная** (U-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr) геохронология щелочно-базитовых плутонов Кузнецкого Алатау / В. В. Врублевский, И. Ф. Гертнер, Г. Гутиеррес-Алонсо и др. // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55, № 11. – С. 1598–1614.
21. **Казаков П. Е.** Ультраосновные и основные магматические формации Салаира и северной части Горного Алтая // Магматизм и металлогения Алтае-Саянской складчатой области. – М.: Наука, 1971. – С. 5.
22. **Корреляция** магматических и метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области / С. П. Шокальский, Г. А. Бабин, А. Г. Владимиров и др.; гл. ред. А. Ф. Морозов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000. – 187 с.
23. **Кузнецов В. А.** Геотектоническое районирование Алтае-Саянской складчатой области // Вопросы геологии Азии. Т. I. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – С. 202–227.
24. **Кутюлин В. А.** Трапповая формация Кузбасса. – Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1963. – 117 с.
25. **Магматизм** и геодинамика Южно-Байкальской вулканической области (горячей точки мантии) по результатам геохронологических, геохимических и изотопных (Sr, Nd, O) исследований / В. В. Ярмолюк, В. Г. Иванов, В. И. Коваленко, Б. Г. Покровский // Петрология. – 2003. – Т. 11, № 1. – С. 3–34.
26. **Магматические** породы и источники магм офиолитов Озерной зоны (Монголия) / В. И. Коваленко, В. В. Ярмолюк, И. С. Пухтель и др. // Петрология. – 1996. – Т. 4, № 5. – С. 453–495.
27. **Неопротерозойский** возраст древнейших образований Томского выступа (Горная Шория) на основании U-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr и Ar-Ar изотопного датирования / А. Г. Владимиров, А. П. Пономарева, С. А. Каргополов и др. // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 1999 – Т. 7, № 5. – С. 28–42.
28. **Новые** данные о возрасте Шумихинского палеоостроводужного комплекса (Восточный Саян): позднерифейско-вендское корообразование на юго-западной окраине Сибирской платформы / М. Ю. Румянцев, О. М. Туркина, А. Д. Ножкин и др. // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41, № 12. – С. 1790–1797.
29. **О возрасте** метаморфизма кианит-силлиманитового типа южно-чуйского комплекса (Горный Алтай): результаты U-Pb изотопного исследования цирконов / А. В. Плотников, Е. В. Бибилова, А. В. Титов и др. // Геохимия. – 2002. – № 6. – С. 579–589.
30. **Основные** возрастные рубежи гранитоидного магматизма Кузнецкого Алатау, Алтая и Калбы (по данным U-Pb изотопного датирования) / А. Г. Владимиров, М. С. Козлов, С. П. Шокальский и др. // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 8. – С. 1157–1178.
31. **Офиолитовая** ассоциация Кузнецкого Алатау (на примере Среднетерсинского массива) / А. И. Гончаренко, П. П. Кузнецов, В. А. Симонов, А. И. Чернышев. – Новосибирск: Наука, 1982. – 105 с.
32. **Палеогеографические** реконструкции западной части Алтае-Саянской области в ордовике, силуре и девоне и их геодинамическая интерпретация / Е. А. Елкин, Н. В. Сенников, М. М. Буслов и др. // Геология и геофизика. – 1994. – Т. 35, № 7–8. – С. 118–144.
33. **Пинус Г. В., Кузнецов В. А., Волохов И. М.** Гипербазиты Алтае-Саянской складчатой области. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 295 с.
34. **Платиноносность** ультрабазит-базитовых комплексов юга Сибири / В. И. Богнибов, А. П. Кривенко, А. Э. Изох и др. // Тр. ОИГГИМ СО РАН. – 1995. – Вып. 829. – 151 с.
35. **Позднепалеозойский-раннемезозойский** гранитоидный магматизм Алтая / А. Г. Владимиров, А. П. Пономарева, С. П. Шокальский и др. // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38, № 4. – С. 715–729.
36. **Раннепалеозойская** гранитоидная формация Кузнецкого Алатау / Ю. А. Кузнецов, В. И. Богнибов, А. Н. Дистанова, Е. С. Сергеева // Тр. ИГиГ СО АН СССР. – 1971. – Вып. – 115. – 352 с.
37. **Розова А. В., Розов С. Н., Дубатолова Ю. А.** Стратиграфия и фауна ордовика Северо-Западного Салаира. – М.: Наука, 1985. – 157 с. – (Тр. ИГиГ СО АН СССР; вып. 637).
38. **Руднев С. Н.** Раннепалеозойский гранитоидный магматизм Алтае-Саянской складчатой области и Озерной зоны Западной Монголии / отв. ред. Г. В. Поляков. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. – 300 с.
39. **Состав, строение и условия формирования** метаосадочно-вулканогенных комплексов Канского зеленокаменного пояса (Северо-Западное Присаянье) / А. Д. Ножкин, О. М. Туркина, Е. В. Бибилова, В. А. Пономарчук // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 7. – С. 1058–1078.
40. **Среднепалеозойский** возраст метаморфизма в Южно-Чуйском комплексе Горного Алтая / А. В. Плотников, А. В. Титов, Н. Н. Крук и др. // Геология и геофизика. – 2001. – № 9. – С. 1333–1347.
41. **Сугоракова А. М., Ярмолюк В. В., Лебедев В. И.** Кайнозойский вулканизм Тувы / отв. ред. А. Э. Изох. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2003. – 92 с.
42. **Схемы** межрегиональной корреляции магматических и метаморфических комплексов Алтае-Саянской складчатой области и Енисейского кряжа /



отв. ред. В. Л. Хомичев. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2002. – 178 с.

43. **Уваров А. Н., Уварова Н. М.** Петротип базальто-ащпанского трахит-тефрит-трахибазальтового комплекса / ред. Г. А. Бабин. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2010. – 180 с.

44. **Уваров А. Н., Уварова Н. М.** Петротип горячего щелочно-габброидного комплекса (Кузнецкий Алатау). – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2008. – 191 с.

45. **Федак С. И., Туркин Ю. А., Гусев А. И.** и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000 000 (третье поколение). Лист М-45 – Горно-Алтайск. Объяснительная записка, карты / гл. ред. С. П. Шокальский. – СПб.: Изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2011. – 567 с.

46. **Федосеев Г. С.** Петрология Шиндинского гранитоидного плутона (Восточный Саян). – М.: Наука, 1969. – 91 с.

47. **Шокальский С. П.** Петрохимическая типизация гранитоидов Северо-Западного Алтая: автореф. дис. ... к. г.-м. н. – Новосибирск: ОИГГиМ СО РАН, 1990. – 19 с.

48. **Этапы** и тектоническая обстановка формирования кристаллических комплексов ранних каледонид Озерной зоны Монголии: результаты U-Pb

и Sm-Nd изотопных исследований / И. К. Козаков, Е. Б. Сальникова, Е. В. Хаин и др. // Геотектоника. – 2002. – № 2. – С. 80–92.

49. **Этапы** формирования и источники континентальной коры западной части Алтае-Саянской складчатой области (по данным изотопно-геохимических исследований) / Н. Н. Крук, С. Н. Руднев, Д. З. Журавлев и др. // Актуальные вопросы геологии и минералогии юга Сибири. – Новосибирск: Изд-во Ин-та гидродинамики СО РАН, 2001. – С. 222–230.

50. **Age** and geochemical evolution of Early Cambrian ophiolite-island arc system in Tuva, Central Asia / J. Pfander, K. Jochum, I. Kroner, et al. // International Ophiolite Symposium and field excursion Espoo. – Finland: Geological Survey of Finland, 1998. – P. 42.

51. **Argon-argon** dating of basanites from volcanic pipe of the Minusa region SW of the Siberian craton / V. G. Malkovets, A. V. Travin, V. N. Reutsky, et al. // J. Conf. Abs. 10th Ann. Goldschmidt Conference, Oxford. – 2000. – Vol. 5, № 2. – 664 p.

52. **Kuvai** Group volcanic rocks (Riphean) in the Beret area Sayan Mountains, SW Siberia – A study of the Paleo-Asian Ocean / T. Watanabe, A. A. Postnikov, O. Tsutomu, et al. // Special Reports on the Regional Studies of North-East Eurasia and North Pacific in Hokkaido University, 1999. – P. 103–112.

© Г. А. Бабин, С. П. Шокальский, 2017



УДК 553.98.041:550.8(571.1)

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

И. Ф. Талипов¹, М. Ю. Смирнов², В. В. Сапьяник²¹Российский геологический холдинг «Росгеология», Москва, Россия; ²Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

Рассмотрено состояние текущих запасов УВ и обоснованы перспективы освоения ресурсного потенциала Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции с целью стабилизации минерально-сырьевой базы Российской Федерации. Подчеркнута необходимость проведения поисковых работ за пределами горных отводов распределенного фонда недр и актуальность пересмотра старого фонда скважин, качественное переиспытание которых приводит к открытию новых месторождений. На конкретных примерах показаны направления геолого-разведочных работ для завершения регионального этапа исследований на малоизученных территориях внешнего пояса Западно-Сибирской плиты. Акцентировано внимание на ключевых проблемах, тормозящих развитие минерально-сырьевой базы Западной Сибири, и приведены рекомендации для их решения.

Ключевые слова: Западная Сибирь, нефть, газ, ресурсы, запасы, перспективы, стадийность ГРП.

STATE AND PROSPECTS OF THE RESOURCE POTENTIAL DEVELOPMENT OF THE WEST-SIBERIAN PETROLEUM PROVINCE

I. F. Talipov¹, M. Yu. Smirnov², V. V. Sapyanik²¹ROSGEO State Geological Holding Company, Moscow, Russia; ²Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

The paper considers the state of current hydrocarbon reserves and substantiates the prospects to develop the West-Siberian petroleum province resource potential to stabilise the mineral resource base of the Russian Federation. The authors insist on the importance of prospecting outside the mining allotment of the license blocks, on the necessity of reconsidering the old inventory of wells which can be re-tested to a high standard, ensuing new field discoveries, and give specific examples of geological exploration areas to complete work at the regional level within poorly explored territories of the outer belt of the West-Siberian plate. Major problems hindering the development of the mineral resource base of West Siberia were emphasised, recommendations were given how to solve them.

Keywords: West Siberia, oil, gas, resources, reserves, prospects, geological exploration stages.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6c-37-47

Современные работы по геологическому изучению недр в основном нацелены на перспективно-нефтегазоносные, базовые для развития нефтегазодобывающей промышленности нашей страны территории периферических районов Западно-Сибирской плиты, на выявление новых нефтегазоперспективных зон в Восточной Сибири, Республике Саха (Якутия), на Дальнем Востоке, Дальневосточном и Арктическом шельфах. Эти регионы характеризуются сложным геологическим строением, отсутствием инфраструктуры и слабой освоенностью ресурсной базы УВ, что определяет риски экономической эффективности большинства выбранных направлений и стадий проведения геолого-разведочных работ (ГРП) в рамках программ регионального геологического изучения упомянутых территорий.

С точки зрения состояния нефтегазодобывающей отрасли наиболее привлекательным на сегодняшний день является освоение неразведанных ресурсов Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (НГП), которая в обозримой перспективе останется главной базой углеводородного сырья России. Это подтверждается данными Государственного баланса, а также ранее выполненными и текущими оценками ее ресурсного потенциала. Они

показывают, что добыча в Западной Сибири по состоянию на 01.01.2016 достигла 334,6 млн т нефти и 560 млрд м³ газа, что соответствует 63 и 88% от общей добычи в Российской Федерации. При этом начальные суммарные запасы нефти, газа и конденсата, учтенные Государственным балансом на 01.01.2016, составляют 66,2% от общероссийских.

Тем не менее ученые и практики акцентируют внимание на проблемах освоения ресурсного потенциала Западно-Сибирской НГП [1, 3, 4 и др.]. При значительном ресурсном потенциале в нефтегазодобывающей отрасли Западной Сибири высокая степень выработанности начальных суммарных ресурсов (НСР). Текущие запасы с высокими добычными возможностями (коэффициент извлечения нефти более 40%) характеризуются высокой степенью обводненности – в пределах 90% и более [5]. Перешли в период падающей добычи многие месторождения. Открываются мелкие, часто малодобитные месторождения и залежи, находящиеся на больших глубинах и в сложных ловушках.

Показатель открытия преимущественно средних и мелких месторождений коррелируется с состоянием Государственного баланса РФ. На период последней ресурсной оценки (01.01.2009) в Запад-



но-Сибирской НГП было открыто 840 месторождений, из которых в разработке 39,3 %, подготовлено к эксплуатации 5,1 %, на разведочном этапе 53,3 %, законсервировано 2,3 %. К настоящему времени на территории провинции открыто свыше 900 месторождений, по запасам от супергигантских и гигантских до мелких, из них 43,8 % находятся в разработке, 4,7 % подготовлено, 49,6 % в разведке и 1,9 % законсервировано.

Из анализа данных 2009–2016 гг. следует, что ввод месторождений в разработку опережает новые открытия и подготовку месторождений к эксплуатации, т. е. темпы разведочного и поискового этапов ГРП явно недостаточны для поддержания ресурсной базы Западно-Сибирской НГП. Эти материалы подтверждают мнение К. А. Клещева [3] об истощении недр основных нефтедобывающих районов Западной Сибири, связанном с понижением средних значений запасов открываемых месторождений и усложнением геологических условий поиска новых залежей УВ.

Выработанность ресурсов особенно заметна на основных территориях нефтедобычи. Так, в Ханты-Мансийском АО за последние годы добыча нефти снизилась на 27 млн т. При этом Ямало-Ненецкий АО, где добываются преимущественно газообразные углеводороды, и южные территории Тюменской области вместе с Томской областью, где вводятся в разработку средние и мелкие месторождения, поддерживают стабильность производства жидких УВ, а ввод в эксплуатацию нового Ванкорского центра нефтедобычи позволил за короткий период увеличить их добычу в Западной Сибири (рис. 1).

Проблему экстенсивной динамики добычи могут решить: льготный режим на ввод малодобитных месторождений; расширение поисковых работ за пределами горных отводов, содержащих более 90 % от общих НСР отдельных территорий распределенного фонда недр (рис. 2); освоение периферических районов Западно-Сибирской НГП, где в последние годы открыты такие месторождения, как Оурьинское (начальные извлекаемые запасы нефти 8,27 млн т), Баклянское (7,5 млн т), Шугурское (2,78 млн т), Восточно-Каюмовское (1,94 млн т) и др.

Высокая вероятность открытия новых месторождений в краевых землях обоснована результатами испытаний скважин с непромышленными притоками УВ, которые расположены в перспективных нефтегазоносных областях (ПНГО) и за пределами Западно-Сибирской НГП (рис. 3). При этом актуален пересмотр старого фонда скважин, качественное переиспытание которых приводит к открытию новых месторождений. Парбигское месторождение нефти, открытое в 2008 г. в результате переиспытания на приток пласта Ю₁₅ надояжского резервуара, подтверждает высокую вероятность получения положительного результата от предлагаемого мероприятия.

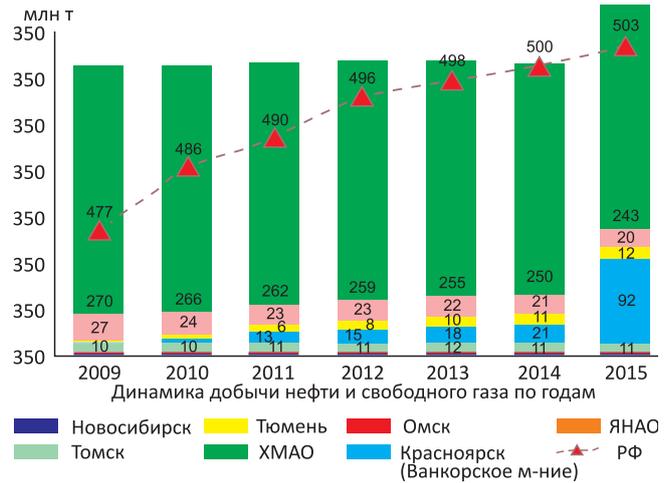


Рис. 1. Сравнительная динамика добычи нефти в Западно-Сибирской НГП по субъектам Федерации

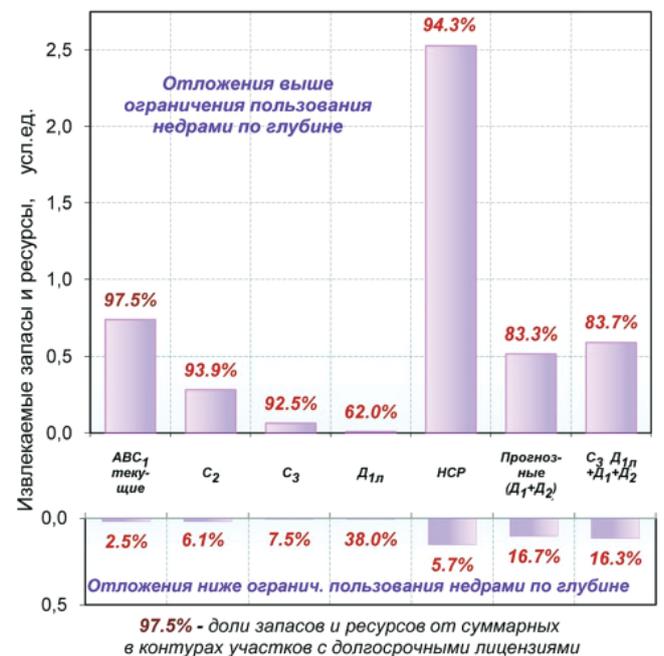


Рис. 2. Распределение извлекаемых запасов и ресурсов в пределах контуров лицензионных участков ХМАО между отложениями выше и ниже ограничения пользования недрами по глубине [8]

Ярким примером может служить история открытия Баклянского месторождения в Омской области, территория которой считается малоперспективной.

На Баклянской площади из отложений баженовской свиты в 1966–1983 гг. были получены слабые притоки нефти в скважинах 1, 3, 4; в керне скважин 3, 4, 6 были выявлены признаки нефтенасыщения. Первые скважины на Баклянской площади (1, 2, 5) были пробурены в 1966–1967 гг. По причине пропусков и низкого выхода керна признаков нефтегазоносности в керне не отмечено. В скв. 1 были вскрыты юрские (инт. 2500–2720 м) и палеозойские (инт. 2720–2740 м) образования. При испытании палеозойских отложений, пластов тюменской (пласты Ю₂₋₅), васюганской (пласт Ю₁), баженовской

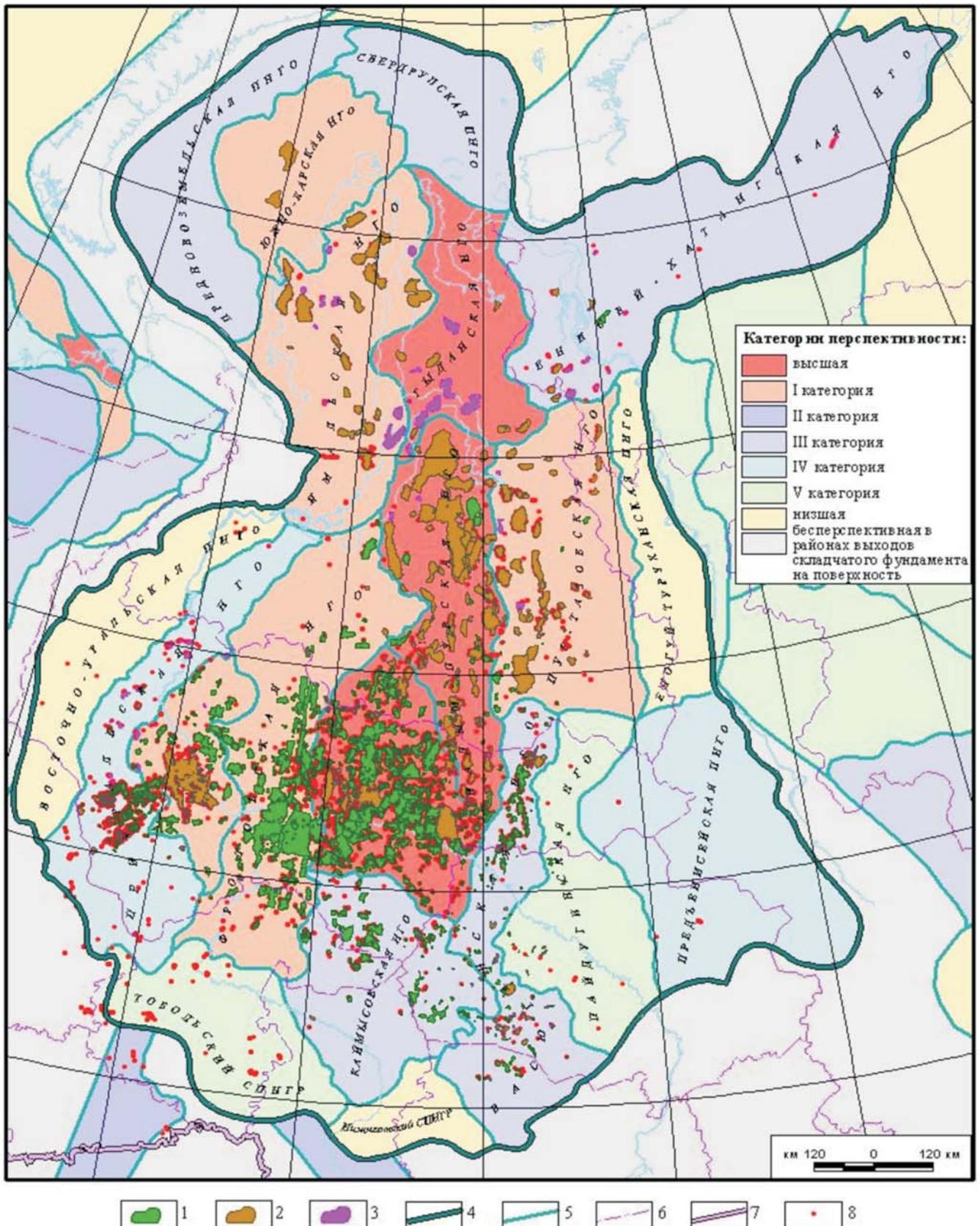


Рис. 3. Схема нефтегазоносности Западно-Сибирской НГП

Месторождения углеводородов: 1 – нефтяные, 2 – нефтегазовые, газонефтяные, нефтегазоконденсатные, газоконденсатные, 3 – газовые; границы: 4 – нефтегазоносной провинции, 5 – нефтегазоносных областей, 6 – субъектов РФ; 7 – государственная; 8 – скважины с притоками УВ

(пласт Ю₀) свит были получены притоки пластовой воды с пленкой густой черной парафинистой нефти. Вследствие негерметичности эксплуатационной

колонны фактическая приуроченность нефти к определенному пласту не была установлена. В скважинах 2 и 5 баженовская свита не испытывалась.



С целью доизучения залежи пласта Ю₀ в соответствии с критериями представления запасов Государственной комиссии в 2013 г. в скв. 3 Баклянской площади выполнен следующий комплекс работ.

1. Нормализован забой до глубины 2596 м. Продуктивный пласт Ю₀ (баженовская свита) выделен в интервале открытого ствола 2560–2594 м.

2. При забое 2596 м в интервале открытого ствола 2545–2596 м выполнен расширенный комплекс ГИС: ПС, ВИКИЗ, БКЗ (семь зондов), резистивиметрия, кавернометрия, боковой, микробоковой, акустический каротаж (широкополостная акустика), гамма-гамма-каротаж (плотностной), РК (ГК, ННК-Т).

3. По результатам комплекса ГИС определены нефтенасыщенные интервалы коллекторов баженовской свиты.

4. Выполнена перфорация интервала баженовской свиты (2560–2594 м) глубокопроникающими зарядами ЗПКТ-105Н-ТВ-СП1 плотностью 6 отв./пог. м, всего 204 заряда. После перфорации осуществлены спуск струйного насоса, вызов притока нефти, освоение и исследование притока. Получен приток нефти дебитом 12 м³/сут при депрессии на пласт 9,311 МПа.

В итоге Государственным балансом РФ Баклянское месторождение учтено с запасами нефти по категориям (геологические/извлекаемые) С₁ 0,102/0,02; С₂ 7,395/1,479 млн т (заключение ГКЗ Роснедра № 198–14 от 15.07.2014).

Следовательно, открытие новых объектов определяется концептуальным пересмотром качественных характеристик в стадийности производства ГРП на углеводородное сырье.

Западно-Сибирская плита с площадью перспективных земель более 2,5 млн км² находится на разных стадиях геолого-геофизической изученности. Территории в стадии промышленного освоения и разведки занимают внутренние (центральные) районы, где плотность сейсморазведочных работ достигает 2 км/км² и более. В периферийных областях плиты поисковый этап не достигнут, они находятся преимущественно в начальной стадии региональных исследований (рис. 4). При этом в зависимости от общего ресурсного потенциала территории увеличивается процент недоразведанности перспективных и прогнозных ресурсов по мере продвижения на внешний пояс. Так, в юго-восточных землях он составляет от 15 до 52%, а уже в Пайдугинской НГО – 90% и 100% в Предъенисейской и Елогуй-Туруханской ПНГО [6, 7].

Исходя из вышеизложенного, представляется целесообразным выполнить полный комплекс программных мероприятий региональной стадии ГРП малоизученных районов Западно-Сибирской НГП, и последующие работы можно планировать в зависимости от полученных результатов.

Рассмотрим отдельные особенности нефтегазоносности и геологического строения крайне неравномерно изученных юго-восточных территорий

Западно-Сибирской НГП, подтверждающие перспективность открытия новых месторождений.

По мере движения к периферии юго-восточных земель Западно-Сибирской НГП происходит значительное сокращение разреза, содержащего продуктивные горизонты. В этом направлении отмечается отсутствие залежей УВ в нижнемеловых, а затем и в верхнеюрских отложениях. Это объясняется в первую очередь исчезновением надежных региональных покрышек, невысокими глубинами залегания и, соответственно, постепенным понижением термической преобразованности органического вещества (ОВ). В то же время нижние горизонты юры широко распространены, особенно в отрицательных структурах первого порядка, где преобразованность ОВ находится в интервале от МК₁²(Г) до МК₂(Ж) по направлению к центру депрессий.

Каждая отрицательная структура первого порядка имеет специфические черты режима седиментогенеза, исходя из которых определяется характерный набор преобладающих потенциально нефтегазоносных песчаных тел. В Колтогорском мегапрогибе и Фроловской мегавпадине это главным образом различной морфологии песчаные тела мелкого шельфа (пески подводных возвышенностей, клиноформы, темпеститы, вдольбереговые бары и т.п.); в Юганской, Нюрольской и Усть-Тымской мегавпадинах – песчаные покровные тела сублиторали и литорали, вдольбереговые бары, барьерные острова, фронт и морской край дельтовой платформы, дельтовые бороздины, протоки, пляжи, устьевые бары, аллювиальные врезы речных долин в нижней их части и т.д.; в Бакчарской и Восточно-Пайдугинской мегавпадинах – шнурковые песчаные тела речных долин и надводной части дельтовых платформ, вдольбереговые косы, бары. Кроме того, в депрессиях были широко развиты и спокойно-водные бассейны – полузамкнутые морские заливы с низинными берегами, лагуны, озера, болота, накапливавшие тонкодисперсный материал и значительные массы органики, в том числе сапропелевой. Периодически большая часть территории превращалась в морской бассейн преимущественно с глинистым седиментогенезом, где формировались экранирующие и нефтематеринские толщи.

Хотя указанные особенности (с возрастающей тенденцией в направлении к областям сноса) несколько ухудшают экранирующие свойства, тем не менее наличие бассейновых фаций и состав глинистых минералов (гидрослюда, хлорит, гидрослюда–монтмориллонит, каолинит), слагающих глинистые горизонты, их мощность (среднеурманская и среднетюменская подбиты 40–80 и 40–60 м соответственно, тогурская, перевальная, сандибинская свиты 30–50, 40–50, 35–55 м соответственно), выдержанность по площади и другие факторы свидетельствуют о достаточной надежности левинского, китербютского, лайдинского и леонтьевского флюидоупоров для сохранности залежей углеводородов

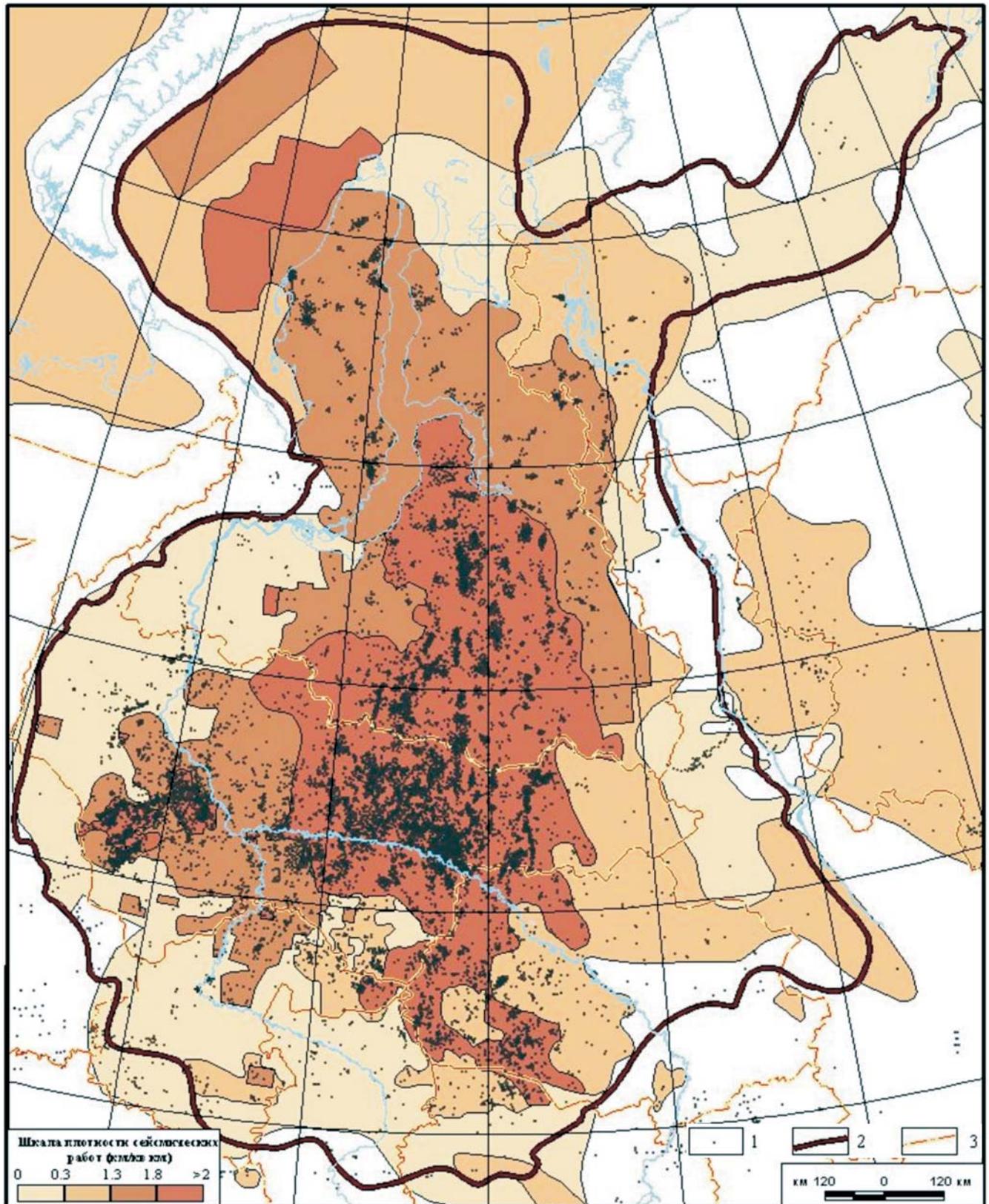


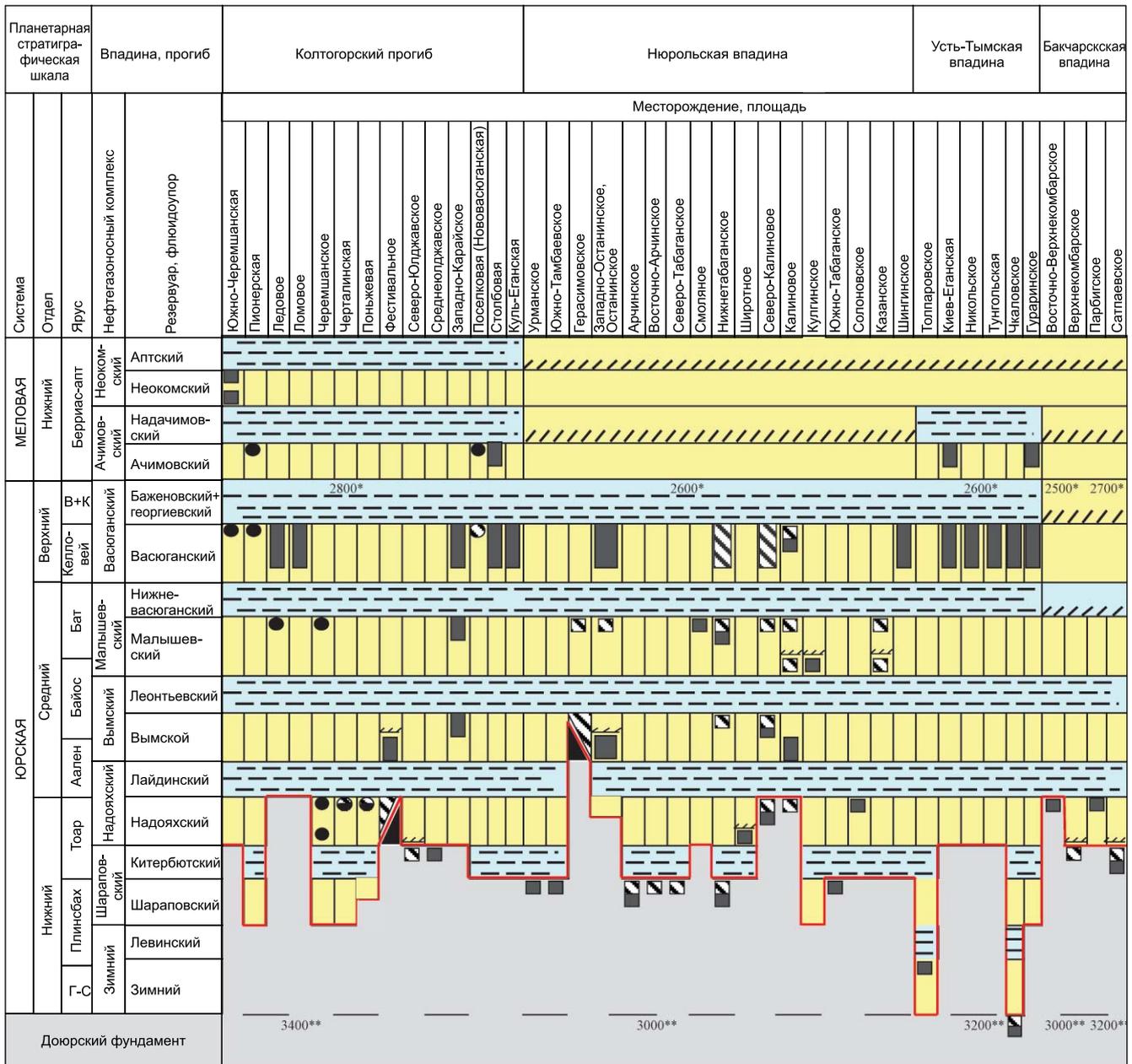
Рис. 4. Генерализованная схема изученности Западно-Сибирской НГП

1 – скважины; границы: 2 – нефтегазоносной провинции, 3 – административные

в пределах отрицательных структур. Можно предположить, что при поступательном продвижении морского побережья к областям сноса названные трансгрессивные глинистые толщи с латеральным перекрытием полностью запечатали подстилающие их песчано-алевритовые резервуары, создавая зам-

кнутые нефтегазогеологические системы нижней и средней юры в депрессионных зонах Западно-Сибирской НГП (рис. 5).

Таким образом, мезозойские нефтегазоносные комплексы, выполняющие впадины и прогибы, обладают наилучшими условиями для накопления ОБ



В+К - волгий + кимеридж Г-С - геттанг - синемюр *Средняя глубина отражающего горизонта IIa. **Средняя глубина отражающего горизонта Ф



Рис. 5. Сравнительная характеристика нефтегазоносности отрицательных структур первого порядка Томской области Усл. обозн. см. на рис. 1

аквагенного типа и его сохранности. Фациальные аквальные условия определяют наилучшую выдержанность песчаных пластов и их глинистых покрышек по латерали. Впадины за счет своей максимальной погруженности отличаются повышенными катагенетическими свойствами преобразования ОВ в УВ. Территории впадин и прогибов следует рассматривать как основные зоны нефтегазообразования и, при благоприятных условиях, нефтегазонакопления.

В домезозойской части разреза юго-востока ЗСП в качестве потенциально перспективных объ-

ектов для накопления флюидов можно выделить следующие комплексы (снизу вверх): рифейский, вендский, нижнекембрийский и среднепалеозойский.

Резервуарами в них могут быть: эрозионная поверхность кровли преимущественно карбонатных рифейских отложений, внутририфейская глинисто-карбонатная толща, терригенный венд, карбонатно-галогенные отложения нижнего кембрия, рифы девона и биогермные (рифоподобные) постройки нижнего кембрия.



Преобладающими коллекторами в палеозойско-протерозойской части разреза являются карбонатные породы. Развитие коллекторов предполагается в карбонатных и органогенных постройках (по аналогии с Сибирской платформой) в рифее и раннем кембрии. В карбонатных резервуарах каверны, поры и трещины проницаемы для флюидов, а плотная их часть образует флюидоупор. Для рифогенных тел покрывками могут служить перекрывающие карбонаты и глинисто-карбонатные отложения.

Перспективными в нефтегазоносном отношении могут быть поверхности несогласий между маломощными отложениями верхнего палеозоя и карбонатными биогермными толщами нижнего кембрия, юрскими и нижнекембрийскими отложениями, юрскими и венд-рифейскими отложениями, юрскими и карбонатными отложениями нижнего кембрия.

Косвенно о перспективах палеозойских комплексов можно судить по данным гидрогеологических исследований при испытании как параметрических, так и поисковых скважин. При исследовании вод доюрских образований установлена их высокая минерализация (до 75 г/л) с содержанием растворенного газа метанового состава (метана до 92%). Кроме того, обнаружены тяжелые углеводороды, включая бутан – до 2%. Состав вод преимущественно хлор-натриево-кальциевый. В водах в значительных концентрациях фиксируется весь комплекс углеводородных соединений, свойственных нефти. В пластовых водах содержатся аквабитумоиды [2].

Для поиска нефтегазоперспективных объектов в слабоизученных районах внешнего пояса Западно-Сибирской плиты разными исследователями сформулированы общие постулаты, включающие:

- определение формационного состава палеозойских образований (соленосные горизонты), выделение резервуаров и флюидоупоров в палеозойско-протерозойском разрезе, наличие крупных положительных структур;
- обнаружение возможных коллекторов в рифее, терригенной части венда, в карбонатных отложениях нижнего кембрия и верхнего палеозоя;
- оконтуривание региональных и локальных покрывок над выявленными коллекторами;
- выявление рифогенных построек как перспективных объектов для поисков УВ;
- выделение в разрезе протерозоя терригенной части венда и отложений рифея на доступных для бурения глубинах;
- определение тектонических нарушений, несогласного залегания горизонтов и выклинивания продуктивных горизонтов и покрывок мезозойских НГК.

На первой стадии воспроизводства сырьевых ресурсов необходима постановка комплексных геолого-геофизических исследований для детализации тектонических и структурно-вещественных особен-

ностей строения осадочного чехла и доюрского основания с выделением участков, перспективных на обнаружение скоплений УВ.

В настоящее время для территории Западной Сибири сейсмогеологический каркас формируется по основным отражающим горизонтам А, Б, М, Г. Дальнейшая детализация модели строения по нефтегазоносным комплексам выполняется по результатам расчленения и корреляции разрезов скважин, увязки материалов бурения и сейсморазведки.

Для обеспечения возможности картирования эффективных толщин и других параметров нефтегазоносных комплексов, резервуаров, пластов и других, более мелких стратиграфических объектов необходимы работы по комплексной интерпретации материалов ГИС с глубокой проработкой накопленных данных и выполнение работ с использованием современных технологий. Полученная таким образом информация актуализирует геологическую модель строения региона.

При этом крупные фрагменты разреза осадочного чехла (НГК), характеризующиеся общностью процесса осадконакопления и историей развития, контролируют локальные фациальные комплексы (потенциальные ловушки).

Повышение ресурсной базы слабоизученных территорий планируется за счет нелокализованных прогнозных ресурсов категорий D_1+D_2 . В частности, рассматривая среднестатистические данные по эксплуатационным объектам Томской области, можно выполнить перевод ресурсов $C_3 (D_0)$ в оценочные запасы по категориям C_1 и C_2 с коэффициентами успешности 0,4 и 0,65 соответственно. Для перевода ресурсов в категорию $C_3 (D_0)$ можно принять коэффициент успешности 0,5, учитывая научно-технический прогресс в обработке и интерпретации сейсморазведочных работ.

Итак, для воспроизводства сырьевых ресурсов в Пайдугинской НГО и Предъенисейской ПНГО, относящихся к IV и V категориям перспективности (см. рис. 3), необходимо завершить начальную стадию региональных работ. На территории Тегульдетской впадины и Барабинско-Пихтовской моноклинали следует провести комплексную аэрогеофизическую съемку и разработать современную геологическую модель нефтегазоносных комплексов на основе бассейнового моделирования юго-восточных районов Западно-Сибирской НГП.

Последующая подготовка территории к проведению поисково-оценочных работ подразумевает строительство параметрических скважин.

С целью изучения геолого-технологических параметров территории Предъенисейской провинции и выявления перспективных горизонтов в поле развития карбонатных формаций кембрия и ордовика, установленных в районе Северо-Кетского поднятия, необходимо бурение параметрической скважины глубиной 5200 м. При заданной проектной глубине она вскроет кровлю отложений рифея и выполнит

основную задачу по определению литолого-стратиграфической характеристики нижнеюрско-рифейского интервала отложений и характера их нефтенасыщения.

Для оценки распределения сгенерированных УВ внутри резервуаров осадочного чехла слабоизученных территорий Пайдугинской НГО необходимо бурение параметрической скважины на глубину 3400 м со вскрытием прогнозной органогенной постройки, перекрытой корой выветривания по терригенно-карбонатным породам девон-карбонového времени (рис. 6). Проектная глубина и точка бурения позволят вскрыть наиболее полный разрез осадочного чехла Бакчарской впадины, а также оценить нефтегазогеологические параметры разнообразно построенных ловушек УВ, сформированных в контрастных структурных планах мезозойского чехла и палеозойского основания, и дать опорную точку для дальнейших исследований неантиклинальных ловушек, осложненных тектоническими элементами, которые широко распространены на периферических территориях Западной Сибири. Следует отметить, что на месте заложения параметрической скважины закартирована Закаульная структурно-литологическая ловушка с тремя перспективными объектами в нефтегазоносном горизонте зоны контакта пород палеозоя с юрскими НГК, а также в шараповском и надояхском резервуарах, с суммарной оценкой перспективных объектов по категории $D_{1\text{лок}}$ (геологические/извлекаемые) 23,6/6,56 млн т УУВ.

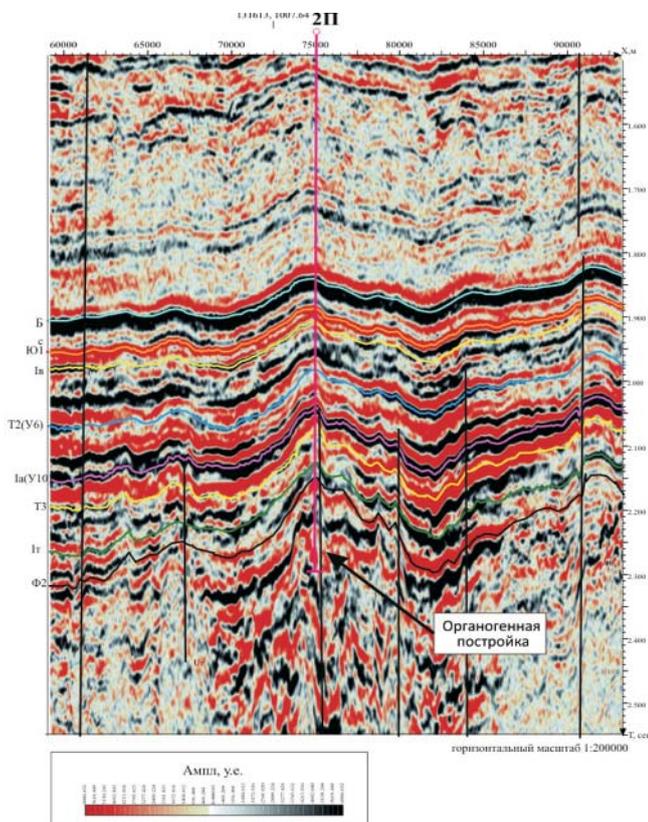


Рис. 6. Положение параметрической скважины 2П на фрагменте временного разреза пр. 141606

Таким образом, исходя из текущей оценки НСР по состоянию на 01.01.2009, а также из приведенных коэффициентов перевода накопленный объем прироста запасов восточных территорий Томской области оценивается в пределах 215,3 млн т УУВ.

Следует отметить, что ресурсы примыкающих с юга и юго-востока территорий (Тегульдетская впадина и Барабинско-Пихтовская моноклиналь), выходящих за современные границы Западно-Сибирской НГП, не оценивались. По аналогии с Предъенисейской НГО они составляют 46,6% от ресурсов Предъенисейской НГО. Подготовка и последующее освоение этой территории позволит дополнить накопленный объем прироста запасов нефти на 55,1 млн т.

В целом общий прирост извлекаемых запасов нефти категории C_1 на востоке Томской области может достигнуть 270,8 млн т УУВ.

Таким образом, для поддержания уровня добычи нефти и газа в регионе необходимо обеспечить стабильное и устойчивое воспроизводство минерально-сырьевой базы за счет: 1) изучения и повышения перспектив нефтегазоносности слабоизученных территорий Западно-Сибирской плиты; 2) поиска и разведки ловушек нефти и газа, связанных с нетрадиционными объектами и комплексами; 3) выработки новой стратегии и тактики нефтепоисковых работ, которые должны базироваться на современных представлениях о геологическом строении Западно-Сибирского бассейна; 4) ввода в эксплуатацию новых центров нефтедобычи.

Данные рекомендации невыполнимы без решения основных проблем, тормозящих развитие минерально-сырьевой базы Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции:

1. Недостаточные объемы региональных и поисковых сейсморазведочных работ, вследствие чего подготовка ресурсов ведется низкими темпами. Среди подготовленных ресурсов остается высоким процент низкокатегорийных ресурсов категорий D_1+D_2 . Подготовка ресурсов C_3 (D_0) на распределенном фонде недр не соответствует объемам, необходимым для воспроизводства добытого сырья.

2. Преобладание поисково-оценочного и эксплуатационного бурения в общих объемах бурения, что не обеспечивает необходимый для воспроизводства прирост запасов нефти категорий C_1+C_2 за счет перевода из ресурсов C_3 (D_0).

3. Отсутствие параметрического бурения на планируемом к распределению фонде недр, вследствие чего качество изучения разреза в разных структурно-тектонических условиях низкое, не обеспечивающее повышения эффективности поисковых работ. Кроме того, при интерпретации сейсморазведочных данных возникают сложности при картировании ловушек неантиклинального типа. Особенно это касается территорий с отрицательными формами рельефа, где этаж нефтегазоносности наращивается нижними горизонтами. Некорректность определения местоположения поисковых



и поисково-оценочных скважин при изучении палеозойских, ниже-среднеюрских и меловых отложений из-за недостатка информации о геологическом строении и перспективах нефтегазоносности каждого нефтегазоносного комплекса занижает показатели эффективности работ за счет лишнего пробуренного метража. В основном местоположение поисковых скважин определяется структурным планом отражающих горизонтов, чаще всего ОГ IIa, без учета особенностей условий формирования и закономерностей размещения скоплений углеводородов нижележащих продуктивных комплексов. К тому же данные территории изучаются за счет поискового и поисково-оценочного бурения лишь на положительных формах рельефа. Это некорректно по отношению к отдельным продуктивным комплексам (палеозой, нижняя – средняя юра), залегающим во впадинах в условиях угловых и стратиграфических несогласий, где образуются ловушки для углеводородов структурно-стратиграфического, структурно-литологического и неструктурного типов.

4. При оценке перспектив нефтегазоносности лицензионных участков почти не используются прямые методы прогнозирования мест скопления углеводородов по аномалиям гравитационных и магнитных полей, по данным электроразведки, по поисковым критериям аэрокосмических снимков. В настоящее время реально действует только один поисковый критерий – наличие положительных структур в рельефе основных отражающих горизонтов. Слабо изучается и учитывается при интерпретации материалов ГИС влияние вторичного минералообразования на характеристику диаграмм различных видов каротажа, особенно при проведении электрических видов каротажа. Между тем по литолого-петрографическим и геохимическим исследованиям установлено, что процессы миграции и аккумуляции углеводородов сопровождаются вторичным минералообразованием.

5. Начавшаяся в 2002 г. разобщенность недропользователей при планировании и проведении ГРП, упразднение практики обмена опытом создают предпосылки для неэффективного процесса недропользования распределенным фондом недр. Составляя программы геологического изучения недр на каждом лицензионном участке и осуществляя геолого-разведочные работы, каждый недропользователь действует в пределах отдельного геологического образования или даже его фрагмента. Привлечение материалов для анализа геолого-геофизической информации по соседним участкам затруднено, так как они являются коммерческой тайной. В результате создание и интерпретация геолого-геофизических данных на участках разнородны, что приводит к отрицательным результатам бурения на открытых структурах. Это препятствует уточнению количественной оценки базы углеводородного сырья не только в региональном плане,

но и на конкретных лицензионных участках и, как следствие, приводит к общему падению добычи УВ.

На основании изложенного представляются целесообразными следующие рекомендации:

1. Определить качественные параметры современного состояния геологического изучения и освоения ресурсов УВ и сформировать основные показатели ГРП, необходимые для доизучения территории, с учетом научно-технических достижений в прогнозировании мест скопления углеводородов, в интерпретации ГИС, повышении нефтеотдачи продуктивных пластов.

2. Составить программу завершения геологического изучения и лицензирования недр на перспективных территориях нераспределенного фонда недр Западно-Сибирской НГП (на практике существуют программы по отдельным субъектам Федерации).

3. На основе разработанных программ произвести корректировку лицензионных соглашений по геологическому изучению недр и темпов освоения ресурсной базы на распределенном фонде недр.

4. Разработать порядок подготовки (обеспечить создание полного комплекса однородной необходимой информации при геологическом изучении недр) и мероприятия по консолидации геолого-геофизических данных для выполнения государственных заказов по геологическому изучению недр и обеспечения качества недропользования на всех этапах освоения ресурсной базы.

5. Внедрить в практику структурно-геоморфологическое направление в производстве ГРП на углеводородное сырье.

Как сказано в Приказе МПР РФ от 07.02.2001, «Структурно-геоморфологические исследования осадочных бассейнов, которые объединяют НИР и производственные полевые работы. Согласно „Временному положению об этапах и стадиях ГРП на нефть и газ“, данное направление относится к начальной стадии регионального этапа (выявление и оценка зон нефтегазоаккумуляции) процесса геолого-разведочных работ, выполняемых для выявления субрегиональных и зональных структурных соотношений между различными нефтегазоперспективными комплексами».

Структурно-геоморфологические исследования позволяют выделить зоны региональных поднятий и локальных структур на начальных стадиях ГРП. Эти исследования основываются на том, что во многих районах крупные структурные элементы и локальные структуры продолжают унаследованно формироваться и в настоящее время. Следует отметить, что данные исследования традиционно относятся к геолого-съёмочным работам. В то же время прирост амплитуд структур за кайнозойское время, включая и неотектонический этап, который составляет от 10 до 50 %, напрямую сказывается на достоверности количественной оценки перспективных ресурсов УВ, зависящей от степени соответ-



ствия прогнозируемых моделей ловушек их естественной конфигурации, точности оценки степени заполнения ловушек и обоснованности параметров, определяющих их емкостные возможности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Брехунцов А. М.** История освоения Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции и вопросы воспроизводства минерально-сырьевой базы углеводородного сырья на современном этапе // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2010. – № 3. – С. 20–25.

2. **Девятов В. П., Шиганова О. В., Сапьяник В. В.** Морфогенетические и гидрогеологические особенности юры севера Пайдунинской НГО в связи с перспективами нефтегазоносности // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО: Восьмая научно-практическая конференция. Т. I. – Ханты-Мансийск, 2005. – С. 275–283.

3. **Клещев К. А.** Основные направления поиска нефти и газа в России // Геология нефти и газа. – 2007. – № 2. – С. 18–23.

4. **Конторович А. Э.** Состояние, перспективы и проблемы развития нефтегазового и угольно-

го комплексов Сибири в ближайшие десятилетия // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2010. – № 4. – С. 3–13.

5. **Недропользование** в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2015 году / Департамент по недропользованию ХМАО – Югры; Научно-аналитический центр им. В. И. Шпильмана. – Тюмень; Ханты-Мансийск, 2016. – 238 с.

6. **Перспективы** освоения юго-востока Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции в рамках наращивания ресурсной базы ВСТО / В. В. Сапьяник, Ю. Л. Зайцева, В. М. Тищенко и др. // Геология нефти и газа. – 2012. – № 1 – С. 43–54.

7. **Сапьяник В. В.** Перспективы нефтегазоносности мезозойских НГК в отрицательных структурах юго-востока Западной Сибири // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО: Шестнадцатая научно-практическая конференция. Т. I. – Ханты-Мансийск, 2013. – С. 7–9.

8. **Судат Н. В., Краснова Г. Н., Поповская В. Г.** Структура ресурсной базы нефти распределенного и нераспределенного фондов недр Югры // Вестник недропользователя Ханты-Мансийского автономного округа. – 2009. – № 21. – С. 36–49.

© И. Ф. Талипов, М. Ю. Смирнов, В. В. Сапьяник, 2017



УДК (553.98.041:550.8):347.77.043(571.5)

СОСТОЯНИЕ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАРАЩИВАНИЯ ОБЪЕМОВ ДОБЫЧИ В РАМКАХ «ПРОГРАММЫ ВСТО»

А. И. Варламов¹, А. А. Герт², П. Н. Мельников¹, А. С. Ефимов³,
М. Ю. Смирнов⁴, Е. В. Смирнов⁴

¹Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт, Москва, Россия; ²Новосибирский филиал ВНИГНИ, Новосибирск, Россия; ³Сибирская геологическая ассоциация, Новосибирск, Россия; ⁴Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

Начало строительства трубопроводной системы ВСТО и утверждение в 2005 г. «Программы геологического изучения и предоставления в пользование месторождений углеводородного сырья Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия)» дали старт активному освоению восточносибирских недр. В статье рассмотрены состояние ресурсной базы углеводородного сырья, геолого-разведочных работ и лицензирования недр указанных территорий, а также перспективы и направления дальнейшего прироста минерально-сырьевой базы.

Ключевые слова: Восточная Сибирь, геолого-разведочные работы, лицензирование, минерально-сырьевая база, нефтегазоперспективные зоны, углеводородное сырье.

STATE OF THE MINERAL RESOURCE BASE AND PROSPECTS FOR INCREASING PRODUCTION VOLUMES UNDER THE ESPO PROGRAMME

A. I. Varlamov¹, A. A. Gert², P. N. Melnikov¹, A. S. Efimov³, M. Yu. Smirnov⁴, E. V. Smirnov⁴

¹All-Russian Research Geological Oil Institute (VNIGNI), Moscow, Russia; ²Novosibirsk Branch of VNIGNI, Novosibirsk, Russia; ³Siberian Geological Association, Novosibirsk, Russia; ⁴Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

The construction of ESPO pipeline system and the approval of the Programme of Geological Study and the Assignment for Use of Hydrocarbon Fields in East Siberia and the Sakha Republic in 2005 launched the active development of the East-Siberian subsoil. The paper discusses the current state of the hydrocarbon resource base, geological exploration and licensing of the territory of interest, as well as prospects and trends of further increment of mineral resource base.

Keywords: East Siberia, geological exploration, licensing, mineral resource base, oil and gas promising zones, raw hydrocarbons.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6с-48-67

В работе над статьей принимал участие коллектив сотрудников Новосибирского филиала ФГБУ «ВНИГНИ» (В. Г. Акимов, М. В. Бражникова, К. Н. Кузьмина, М. Ю. Соболев, В. А. Эрнст) и АО «СНИИГГиМС» (А. А. Вымятнин, О. Н. Лыбина, П. И. Новиков, И. И. Черепанова).

Ресурсная база углеводородного сырья

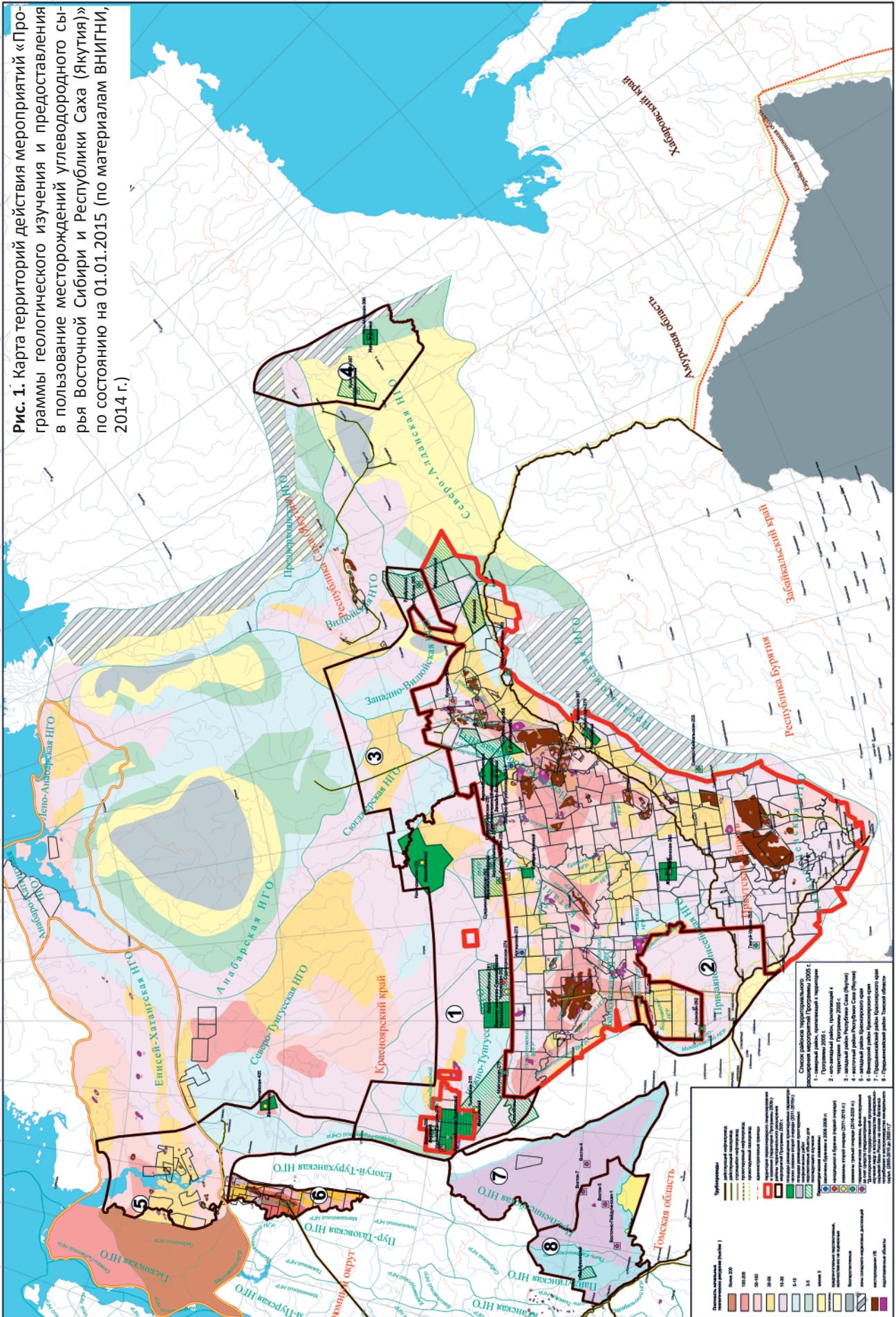
Основой геологического изучения и освоения запасов нефти и газа Восточной Сибири является «Программа геологического изучения и предоставления в пользование месторождений углеводородного сырья Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия)» (далее – Программа), разработанная в соответствии с Распоряжением Правительства Российской Федерации № 1737-р от 31.12.2004. Программа утверждена приказом МПР России № 219 от 29.07.2005. Первоначально территория действия программы охватывала южные районы Красноярского края, Иркутскую область и юго-западную часть Республики Саха (Якутия). В нефтегазогеологическом отношении Программа включала Южно-Тунгусскую, Байкитскую, Катангскую, Непско-Ботуобинскую, Ангаро-Ленскую, Предпатомскую и Западно-Виллюйскую НГО. В 2009–2012 гг., в соответствии с Протоколом Минприроды № 02–16/67-пр от 21.04.2009 зона действия Программы была

расширена за счет включения в нее территорий северо-запада и юго-запада Красноярского края (северная часть Северо-Тунгусской и западная часть Енисей-Хатангской НГО, Присаяно-Енисейская НГО), Предъенисейской ПНГО (запад Красноярского края и восточная часть Томской области), а также западных и восточных районов Республики Саха (Якутия) в пределах Сюгджерской, Западно-Виллюйской, Виллюйской НГО, Северо-Алданской и Предверхоанской НГО [6, 9, 11].

В 2014 г. согласно поручению Роснедра (письмо Роснедр от 13.10.2014 № 03–30/11492) во ВНИГНИ было разработано дополнение к Программе 2005 г.: в нее были включены территории северного окончания Сибирской платформы (Гыдано-Хатангская нефтегазоперспективная зона, Анабаро-Хатангская и Лено-Анабарская НГО). Таким образом, по состоянию на 01.01.2015 территория действия «Программы геологического изучения и предоставление в пользование месторождений Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия)» фактически покрывала всю восточную часть Западно-Сибирской НПП (Предъенисейскую нефтегазоперспективную область) и практически всю Восточно-Сибирскую мегапровинцию. В административном отношении это Красноярский край, Иркутская область, Республика Саха (Якутия), восточные районы Томской области



Рис. 1. Карта территорий действия мероприятий «Программы геологического изучения и предоставления в пользование месторождений углеводородного сырья Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия)» по состоянию на 01.01.2015 (по материалам ВНИГНИ, 2014 г.)



в пределах части Пайдугинской и Предъенисейской НГО (рис. 1). В последние годы именно эти регионы и являются приоритетными для размещения основного объема геолого-разведочных работ и объектов лицензирования. Это обусловлено необходимостью формирования достаточной сырьевой базы нефти и газа для обеспечения загрузки новых нефтегазотранспортных магистралей на востоке России – нефтегазопроводов «Восточная Сибирь – Тихий океан», «Сила Сибири», «Куюмба – Тайшет» (как часть системы ВСТО). На севере рассматриваемой территории в связи с развитием современного танкерного флота России повышается роль, в том числе и для транспорта нефти и сжиженного газа, уникальной транспортной схемы – Северного морского пути.

В настоящее время в Восточной Сибири условно можно выделить три центра (кластера) нефтегазового освоения:

1) Центрально-Сибирский (южные и юго-западные районы Красноярского края и восток Томской области – зона влияния ВСТО);

2) Восточно-Сибирский (Иркутская область, западные и восточные районы Республики Саха (Якутия) – зона влияния транспортных коридоров ВСТО и «Сила Сибири»);

3) Северо-Сибирский центр (практически все северное обрамление Сибирской платформы в пределах северных районов Красноярского края и Республики Саха (Якутия) – зона обеспечения Северного морского пути).

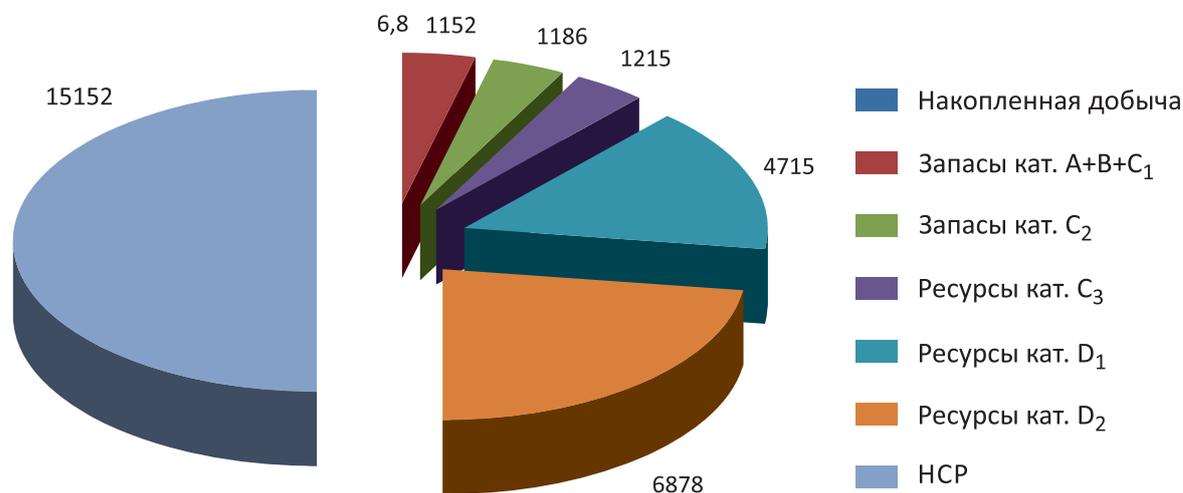
Последняя официальная количественная оценка ресурсной базы УВ в России выполнена

в 2009–2012 гг. по состоянию запасов и ресурсов на 01.01.2009. В соответствии с данной оценкой на рис. 2 приведена характеристика структуры ресурсной базы нефти для территории действия расширенной Программы (2014 г.) как в целом по анализируемому региону, так и в по субъектам РФ, при этом для Томской области даны значения запасов и ресурсов нефти по части Пайдугинской НГО и Предъенисейской НГО в границах Томской области.

Структура запасов и ресурсов свободного газа в соответствии с оценкой на 01.01.2009 представлена на рис. 3.

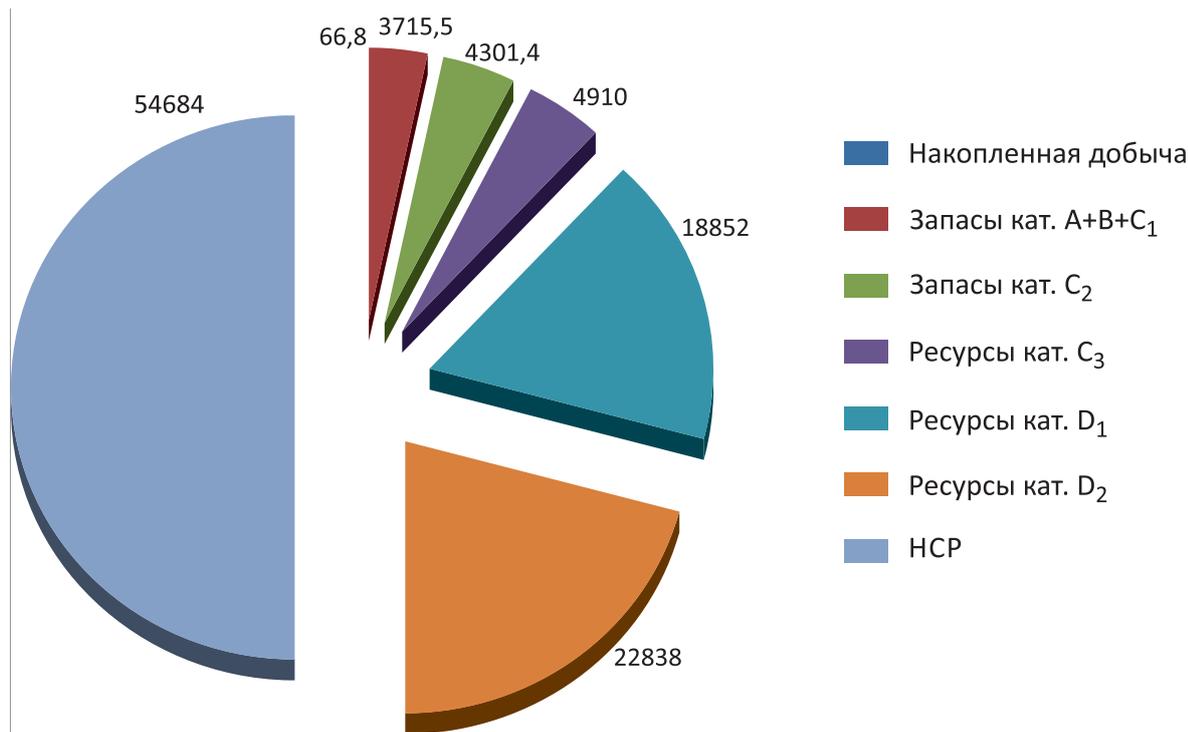
Суммарные начальные извлекаемые ресурсы нефти и свободного газа территории действия Программы по состоянию на 01.01.2009 оценивались в 69,8 млрд т УУВ.

За время, прошедшее после последней официальной оценки ресурсов нефти и газа, на рассматриваемой территории были выполнены значительные объемы геолого-разведочных работ (геофизические, буровые, геохимические). В результате фактическая сырьевая база претерпела существенные изменения за счет вовлечения в освоение новых площадей, открытия новых месторождений и залежей, интенсификации объемов добычи нефти и газа, списания не подтвердившихся ресурсов и запасов УВ. Финансирование геолого-разведочных работ осуществлялось на принципе частно-государственного софинансирования. За счет федерального госбюджета проводились региональные геолого-геофизические исследования и параметрическое бурение. Конечным результатом этих работ на завершающей



Регион	Накопленная добыча	Запасы по категориям		Ресурсы по категориям			Начальные суммарные ресурсы
		A+B+C ₁	C ₂	C ₃	D ₁	D ₂	
Всего	6,8	1152	1186	1215	4715	6878	15152
Красноярский край	0,8	706,8	923,4	826	1804	4519	8780,0
Иркутская область	1,5	197,7	74,4	207	1924	274	2678,6
Томская область (восток)	–	–	–	–	372	202	574
Республика Саха (Якутия)	4,5	247,3	188,1	182	615	1883	3119,9

Рис. 2. Структура извлекаемой ресурсной базы нефти зоны действия расширенной Программы по состоянию на 01.01.2009, млн т



Регион	Накоплен-ная добыча	Запасы по категориям		Ресурсы по категориям			Начальные суммарные ресурсы
		A+B+C ₁	C ₂	C ₃	D ₁	D ₂	
Всего	66,8	3715,5	4301,4	4910	18852	22838	54684
Красноярский край	18,1	819,3	1000,6	3407	8805	14465	28515,0
Иркутская область	2,1	1581,7	2084,7	1322	4933	2124	12047,5
Томская область (восток)	0	0	0	0	94	137	231
Республика Саха (Якутия)	46,6	1314,5	1216,1	181	5020	6112	13890,2

Рис. 3. Структура ресурсной базы свободного газа зоны действия расширенной Программы по состоянию на 01.01.2009, млрд м³

их стадии являлась подготовка для лицензирования нефтегазоперспективных площадей и локализация прогнозных ресурсов нефти и газа. Поисково-оценочные, разведочные работы и освоение выявленных месторождений осуществлялись за счет собственных либо привлеченных средств пользователей недр. Основным модулятором формирования и изменения сырьевой базы нефти и газа были результаты геолого-разведочных работ.

Всего за 2009–2016 гг. на геолого-разведочные работы в Восточной Сибири в рамках Программы 2014 г. было потрачено 366,1 млрд руб., в том числе 43,8 млрд руб. за счет средств государства, 322,3 млрд руб. за счет инвестиций недропользователей (рис. 4). При этом доля федерального финансирования не превышала 11–12% от общего объема затрат. Среднегодовой уровень затрат федерального бюджета в зоне ВСТО в рассматриваемый период составил 5,48 млрд руб., а инвестиционных средств – 40,3 млрд руб.

В 2009–2016 гг. за счет госбюджета в зоне влияния расширенной программы ВСТО было отработано около 71 тыс. пог. км сейсморазведки 2Д

МОГТ, параметрическим бурением пройдено около 25 тыс. пог. м. Выявлены и локализованы ресурсы нефти категории D_{1лок} в объеме более 5,1 млрд т (извл.), газа – около 25 трлн м³.

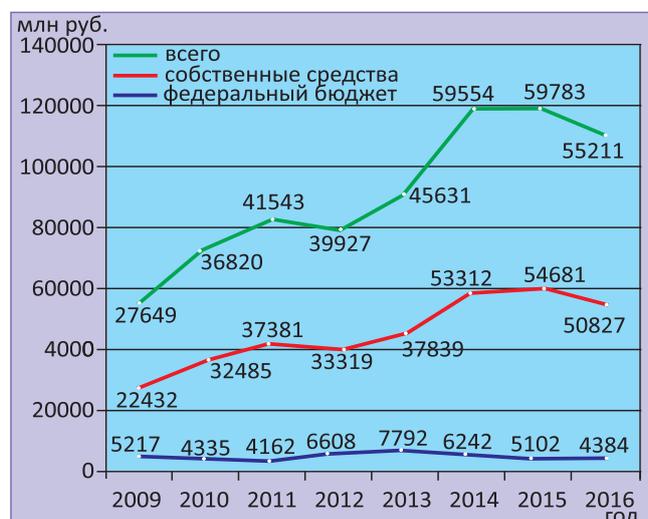
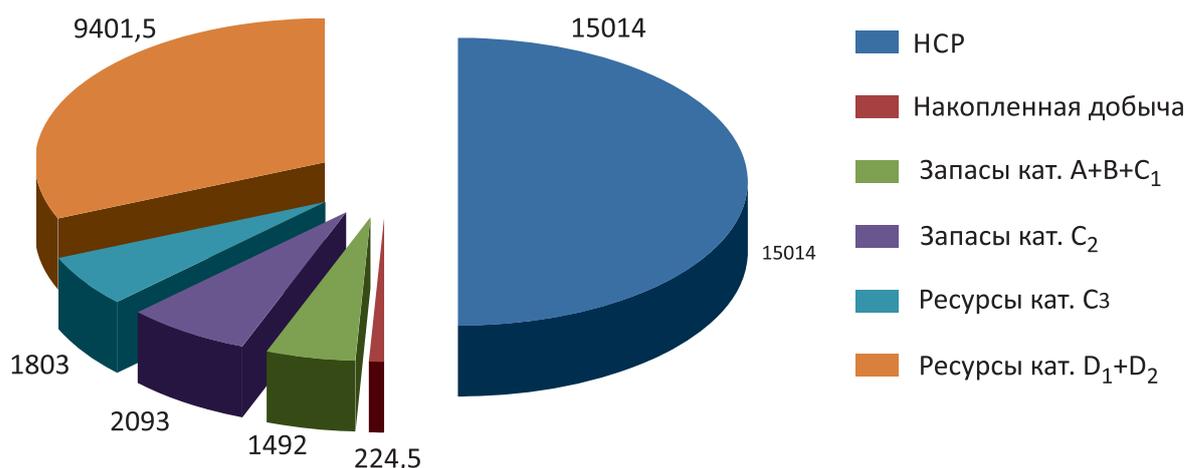
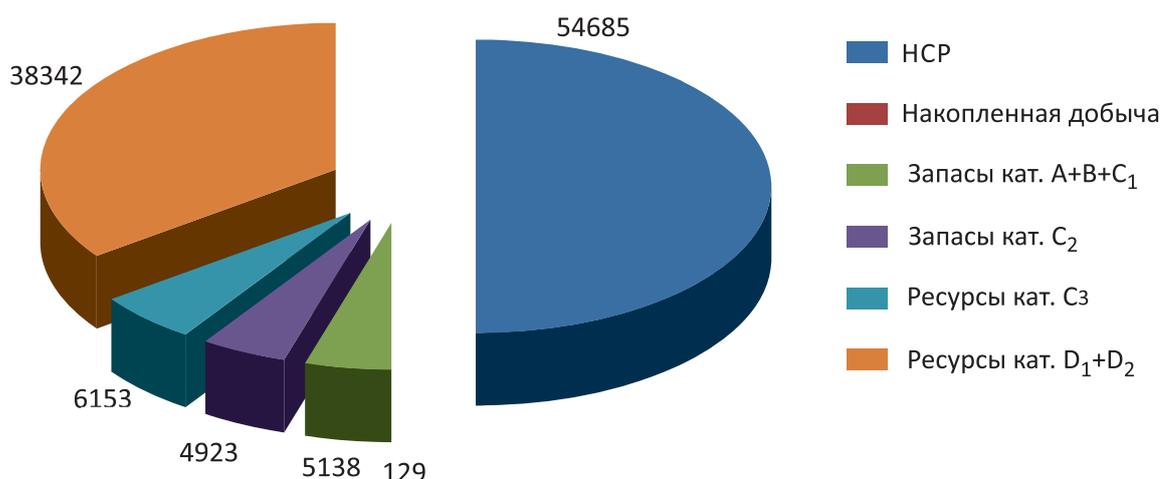


Рис. 4. Динамика финансирования ГРП в Восточной Сибири по годам и источникам затрат



Регион	Начальные суммарные ресурсы	Накопленная добыча	Запасы по категориям		Ресурсы по категориям	
			A+B+C ₁	C ₂	C ₃	D ₁ +D ₂
Всего	15014	224,5	1492	2093	1803	9401,5
Красноярский край	8780,0	114,6	871,5	1005	1286	5502,9
Иркутская область	2678,6	61,8	262	764	237	1354,2
Томская область (восток)	435					435
Республика Саха (Якутия)	3119,9	48,1	359	324	280	2109,4

Рис. 5. Состояние и структура запасов и ресурсов нефти в зоне ВСТО на 01.01.2016 (млн т)



Регион	Начальные суммарные ресурсы	Накопленная добыча	Запасы по категориям		Ресурсы по категориям	
			A+B+C ₁	C ₂	C ₃	D ₁ +D ₂
Всего	54685	129	5138	4923	6153	38342
Красноярский край	28515	56	1108	1039	3115	23197
Иркутская область	12048	11	1892	2907	2704	4534
Томская область (восток)	232	0	0	0	0	232
Республика Саха (Якутия)	13890	62	2138	977	334	10379

Рис. 6. Состояние и структура запасов и ресурсов газа в зоне ВСТО на 01.01.2016 (млрд м³)

За счет собственных средств недропользователей в 2009–2016 гг. отработано 93 тыс. пог. км сейсморазведки 2Д МОГТ, более 51 тыс. км² сейсморазведки 3Д, поисково-разведочным бурением пройдено 1,17 млн пог. м.

Выполненные объемы работ на распределенном фонде недр позволили существенно нарастить

разведанную часть ресурсной базы УВ. Так, запасы нефти категорий А+В+С₁ за рассматриваемый период удалось прирастить на 340 млн т, категории С₂ – на 907 млн т и, это несмотря на значительно выросшие объемы добычи нефти: накопленная добыча нефти в Восточной Сибири на начало 2009 г. составляла 6,8 млн т а на начало 2016 г. – 224,5 млн т.

Таблица 1

Запасы углеводородов базовых месторождений Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия) по состоянию на 01.01.2015

Месторождение	Нефть (извл.), млн т		Газ, млрд м ³	
	A+B+C ₁	C ₂	A+B+C ₁	C ₂
Среднеботуобинское	98,4	107,9	168,0	72,9
Чаяндинское	52,5	15,1	708,2	738,5
Ковыктинское	0,0	0,0	1562,7	988,0
Талаканское + Верхнечонское + Северо-Талаканское + Алинское + Восточно-Алинское + Южно-Талаканское	304,3	100,8	80,0	129,5
Юрубчено-Тохомское+Куюмбинское+Оморинское	289,3	587,6	170,5	400,6
Собинское+Пайгинское	11,6	5,3	148,6	14,7
Ванкорское	372,5	5,7	102,1	4,3
ВСЕГО	1128,6	822,4	2940,1	2348,5

Существенно вырос и объем подготовленных перспективных ресурсов нефти категории C₃ (D₀) – с 1215 млн т в 2009 г. до 1810 млн т на начало 2016 г.

Аналогичная ситуация отмечается и для газа (без учета растворенного). Объем запасов газа категорий A+B+C₁ вырос на 1421 млрд м³ (с 3716 на 01.01.2009 до 5138 млрд м³ на начало 2016 г.), газа категории C₂ – на 621 млрд м³, подготовленных перспективных ресурсов категории C₃ (D₀) – на 1243 млрд м³. Накопленная добыча газа на 01.01.2016 составила 129 млрд м³, увеличившись на 62 млрд м³ (рис. 5, 6).

На Сибирской платформе на 01.01.2015 на Государственный баланс поставлено 106 месторождений нефти, газа и конденсата, из них в Республике Саха (Якутия) 35, в Иркутской области 33, в Красноярском крае 35 месторождений; три месторождения находятся на балансе в двух субъектах – в Иркутской области и Республике Саха.

В Восточной Сибири и Республике Саха (Якутия) преобладают нефтегазовые и нефтегазоконденсатные месторождения. Ряд нефтегазоносных областей и районов отличается преимущественной газоносностью, в них выявлены газовые и газоконденсатные месторождения (Енисей-Хатангская НГО и Нижнеангарский самостоятельный НГР) в Красноярском крае, Вилюйская НГО в Республике Саха (Якутия), Ангаро-Ленская НГО в Иркутской области) (табл. 1).

Основной целью работ недропользователей в 2005–2015 гг. являлось выявление промышленных залежей углеводородного сырья, т. е. получение прироста запасов категории C₁ (рис. 7).

Наибольший прирост был в 2007 г – более 280 млн т. В 2008 г. произошел резкий спад, основной причиной которого был экономический кризис, но в последующие годы приросты увеличились и ситуация стабилизировалась. Суммарный прирост запасов нефти категории C₁ за 2005–2015 гг. составил 1060,6 млн т, а по прогнозам на 2016–2020 гг. он будет 450 млн т.

В табл. 2 представлены новые месторождения нефти и газа и прирост запасов на существующих месторождениях в Восточной Сибири и Республике Саха (Якутия) за 2005–2015 гг. Из открытых за этот период месторождений самое большое по разведанным запасам нефти категорий A+B+C₁ – Северо-Талаканское (21,2 млн т), газа – Чиканское (39,3 млрд м³), по суммарным запасам нефти категорий A+B+C₁+C₂ – месторождение им. Савостьянова (200,1 млн т), газа – Ангаро-Ленское (1221,6 млрд м³).

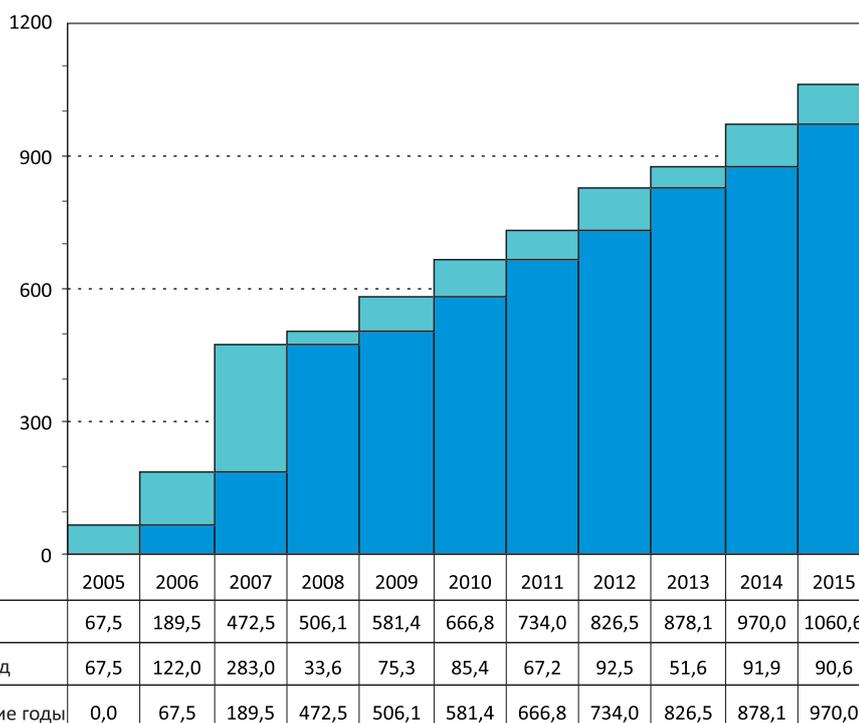
Геолого-разведочные работы

Для расширенного воспроизводства минерально-сырьевой базы нефти и газа необходим значительный объем геолого-разведочных работ. Вклад государства в воспроизводство ресурсной базы предусмотрен на региональной стадии изучения новых нефтегазоносных провинций (научные исследования, бурение параметрических скважин, сейсморазведочные и другие геофизические работы регионального масштаба). Работы поискового и разведочного этапов финансируются недропользователями.

За 2005–2015 гг. суммарные затраты федерального бюджета и недропользователей в геолого-разведочные работы в Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия) составили 373,8 млрд руб. ГРР за счет средств федерального бюджета выполнены на сумму 54,1 млрд руб. (14,5 % от общих затрат). Недропользователи за почти 11 лет инвестировали в геологическое изучение углеводородного потенциала недр Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия) 319,6 млрд руб. (85,5 % от общих затрат) (табл. 3).

Лицензирование недр

При формировании Программы в 2005 г. нефтеперспективные территории юга Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия) были разделены более чем на 200 перспективных лицензионных



Состояние запасов на 01.01.2005 A+B+C₁ = 684 млн т, C₂ = 732 млн т
 на 01.01.2015 A+B+C₁ = 1445 млн т, C₂ = 2029 млн т

Рис. 7. Состояние и прирост извлекаемых запасов нефти категории C₁ в Восточной Сибири и Республике Саха (Якутия) за 2005–2015 гг.

Таблица 2

Прирост запасов УВ на месторождениях, открытых до 2005 г., и запасы УВ на месторождениях, открытых после 2005 г.

Месторождение	Год открытия	C ₁		C ₂	
		Нефть	Газ	Нефть	Газ
Красноярский край (Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция)					
Байкаловское	2010	2,7	31,3	37,0	52,8
Ванкорское	1991	430,4	91,0	-221,6	-37,4
Горчинское	2013	-	22,3	-	-
Ичемминское	2013	1,4	-	5,2	-
Лодочное	1985	1,1	-	12,7	-
Пайяхское	1990	18,9	-	74,1	-
Пеляткинское	1969	-	-32,1	-	7,6
Северо-Соленинское	1983	-	-1,7	-	1,0
Сузунское	1984	20,1	6,1	8,1	-
Тагульское	1988	71,1	51,1	92,6	30,1
ВСЕГО		545,7	168,0	8,1	54,1
Красноярский край (Лено-Тунгусская нефтегазоносная провинция)					
Абаканское	2011	-	25,7	-	16,8
Борщевское	2010	-	-	13,0	-
Восточно-Имбинское	2015	-	5,2	-	9
Ильбокичское	2013	-	12,8	-	46,3
Исчухское	2011	-	1,5	-	21,8
Камовское	2009	0,8	-	20,5	-
Куюмбинское	2000	58,3	10,8	76,2	-45,0
Новоюдоконское	2013	-	0,9	-	3,8
Оморинское	1984	0,2	0,4	-	4,8
Пайгинское	1987	6,7	-0,5	1,1	0,0
Собинское	1982	0,2	1,6	-4,7	-5,0
Шушукское	2009	0,3	-	14,5	15,1
Юрубчено-Тохомское	1984	113,4	30,9	32,9	-317,1
ВСЕГО		179,9	89,3	153,5	-249,5



Окончание табл. 2

Иркутская область					
Абайское	2011	–	1,3	–	7,8
Ангаро-Илимское	2010	–	2,1	–	30,3
Ангаро-Ленское	2007	–	1,5	–	1220,1
Атовское	1977	–	6,2	–	2,6
Аянское	1975	0,5	–0,7	0,9	8,5
Большетирское	2013	0,5	–	0,9	–
Вакунайское	1991	4,6	2,7	36,0	66,0
Верхнечонское	1978	17,1	7,0	7,7	–1,7
Даниловское	1977	7,3	1,7	5,9	–15,1
Дулисьминское	1983	3,5	13,6	36,5	16,6
Ербогаченское	2012	0,1	–	7,4	–
Западно-Аянское	2009	0,7	2,4	6,5	27,8
Заславское	2010	–	1,8	–	22,1
Знаменское	2011	–	0,2	–	1,2
Игнялинское	2012	6,6	3,0	55,9	39,3
им. Н. Лисовского	2011	1,5	2,5	88,1	16,5
им. Савостьянова	2010	15,6	25,5	181,9	80,6
им. Б. Синявского	2011	0,1	0,2	14,3	0,2
им. В. Б. Мазура	2013	4,0	–	35,7	–
Ичединское	2013	4,8	1,2	8,4	1,7
Ковыктинское	1987	–	156,1	–	416,0
Криволукское	2012	0,4	–	1,0	–
Левобережное	2004	–	–	–	–1701,9
Марковское	1962	–	6,5	–1,0	–0,8
Нарьягинское	2011	–	1,6	–	24,6
Пилюдинское	1984	0,2	–	–	–
Санарское	2011	1,8	–	80,0	–
Саянское	2015	–	0,7	–	14,0
Северо-Вакунайское	2011	0,3	–	6,1	–
Северо-Даниловское	2012	11,2	0,8	–0,3	1,2
Северо-Марковское	2011	0,2	–	2,0	–
Токминское	2013	0,4	0,4	1,8	0,7
Тутурское	2011	–	1,2	–	5,7
Тымпучиканское	1989	0,5	2,6	7,8	2,7
Чиканское	2007	–	39,3	–	66,3
Южно-Даниловское	2012	–	1,4	–	13,8
Ярактинское	1971	19,4	3,2	1,3	1,8
ВСЕГО		101,3	286,0	584,8	368,6
Республика Саха (Якутия)					
Алинское	1991	11,3	0,1	–3,4	–1,7
Вакунайское	1991	–	–	4,0	9,8
Верхнепеледуйское	2006	1,1	5,0	–	9,3
Восточно-Алинское	2008	5,6	7,4	11,2	11,8
Игнялинское	2012	–	–	–	–
Пеледуйское	2010	–	0,8	–	2,7
Северо-Талаканское	2008	32,5	3,5	37,3	8,3
Среднеботуобинское	1970	46,4	20,1	96,0	54,3
Отрадинское	1993	–	2,4	–	23,1
Талаканское	1984	37,0	9,1	4,2	–9,7
Тымпучиканское	1989	1,2	12,2	38,1	75,4
Чаяндинское	1986	10,0	328,5	7,6	–122,7
Южно-Талаканское	2010	0,8	0,5	8,3	4,9
ВСЕГО	1991	145,9	389,6	211,0	65,6
Запасы нефти (млн т) и газа (млрд м ³) на новых месторождениях, открытых после 2005 г.					
Прирост запасов нефти (млн т) и газа (млрд м ³) на месторождениях, открытых до 2005 г.					



Таблица 3

Финансирование ГРП на территории Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия) за 2005–2015 гг. и их результаты

Показатель	Год			
	2005	2005–2015 (среднегодовое)	2015	2005–2015
Сейсморазведочные работы 2D, пог. км				
– бюджет	5811	9090,7	9836	100742,8
– недропользователи	5984,2	11239,1	8948	121338,8
Сейсморазведочные работы 3D, км ²				
– недропользователи	847,7	3777,1	10650	48421,4
Параметрическое бурение, м				
– бюджет	9	5160	0	51603
Глубокое бурение, тыс. пог. м				
– недропользователи	46,4	120,1	168	1369
Объем финансирования, млн руб.				
– бюджет	1595,5	4902,6	5101,8	54128
– недропользователи	4195,5	26495,3	54680,9	319634,3
Локализация прогнозных ресурсов				
– нефть, млн т	31,0	627,4	1220,9	6867,9
– природный газ, млрд м ³	66	2873,9	6492,6	32357,5
Прирост запасов				
– нефть, млн т	67,5	97,6	90,6	1060,6
– природный газ, млрд м ³	57,5	90,4	355,1	1282,9

участков, распределение которых намечалось на 2005–2015 гг. К началу действия Программы на рассматриваемой территории в распределенном фонде недр было 58 лицензионных участков (в Иркутской области 23, в южной части Красноярского края 25 и в Республике Саха (Якутия) 10).

Всего в Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия) по состоянию на 01.01.2016. в ведении 79 недропользователей находятся 224 лицензионных участка, в том числе в южной части Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия) – 185 участков (рис. 8).

За 2005–2015 гг. государство получило бонусы на аукционах за пользование недрами и плату за право пользования недрами участков федерального значения, распределенных на внеконкурсной основе, в размере 96,8 млрд руб., затраты госбюджета на ГРП составили 54,1 млрд руб. За 2008–2015 гг. распределено 98 лицензионных участков, в то время как в течение трех первых лет с начала действия Программы (2005–2007 гг.) было распределено 76 участков (рис. 9).

На севере Красноярского края и Республики Саха (Якутия) с 2005 г. были распределены еще 33 участка недр.

Снижение интереса недропользователей к новым участкам вызвано тем, что наиболее инвестиционно привлекательные участки уже распределены, а изученность оставшихся крайне низка. В связи с этим авторами было предложено продлить программу лицензирования до 2020 г. и в первую очередь предлагать к распределению участки, на которых проводились региональные работы за

счет средств федерального бюджета (рис. 10). На остальных участках рекомендовано провести геолого-разведочные работы за счет бюджетных средств, в том числе и поисковой стадии, для повышения геологической изученности и инвестиционной привлекательности.

Кроме того, предлагается выделить новые перспективные территории, расширяющие зону Программы на север Красноярского края, восток Томской области, восток Республики Саха (Якутия).

Актуальные задачи недропользования Восточной Сибири

Результаты анализа хода реализации Программы позволяют выделить следующие актуальные задачи недропользования в Восточной Сибири и варианты их решения.

1. Разработка единой федеральной государственной Программы изучения и освоения запасов и ресурсов нефти и газа Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия), создание органа управления Программой.

2. Обязательное осуществление мониторинга экономической эффективности мероприятий «Программы геологического изучения и предоставления в пользование месторождений углеводородного сырья Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия)» и ее последствий для народного хозяйства Сибири и Российской Федерации в целом.

3. Усиление ГРП по государственным программам, в том числе в части параметрического бурения. Консолидация усилий всех недропользователей по единым программам ГРП, определяющим объемы

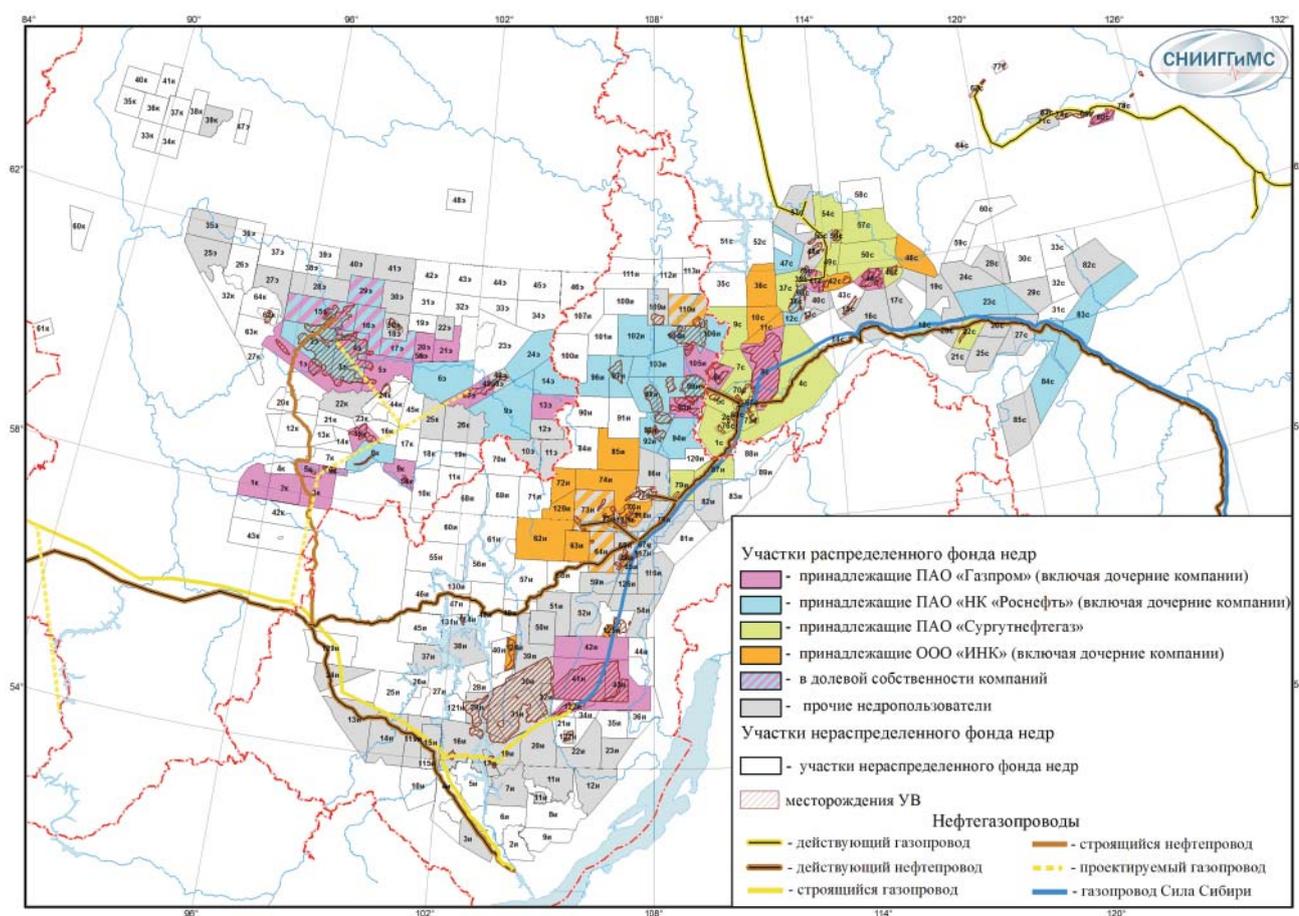


Рис. 8. Схема распределения лицензионных участков по основным недропользователям в южной части Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия) (по состоянию на 01.01.2016)

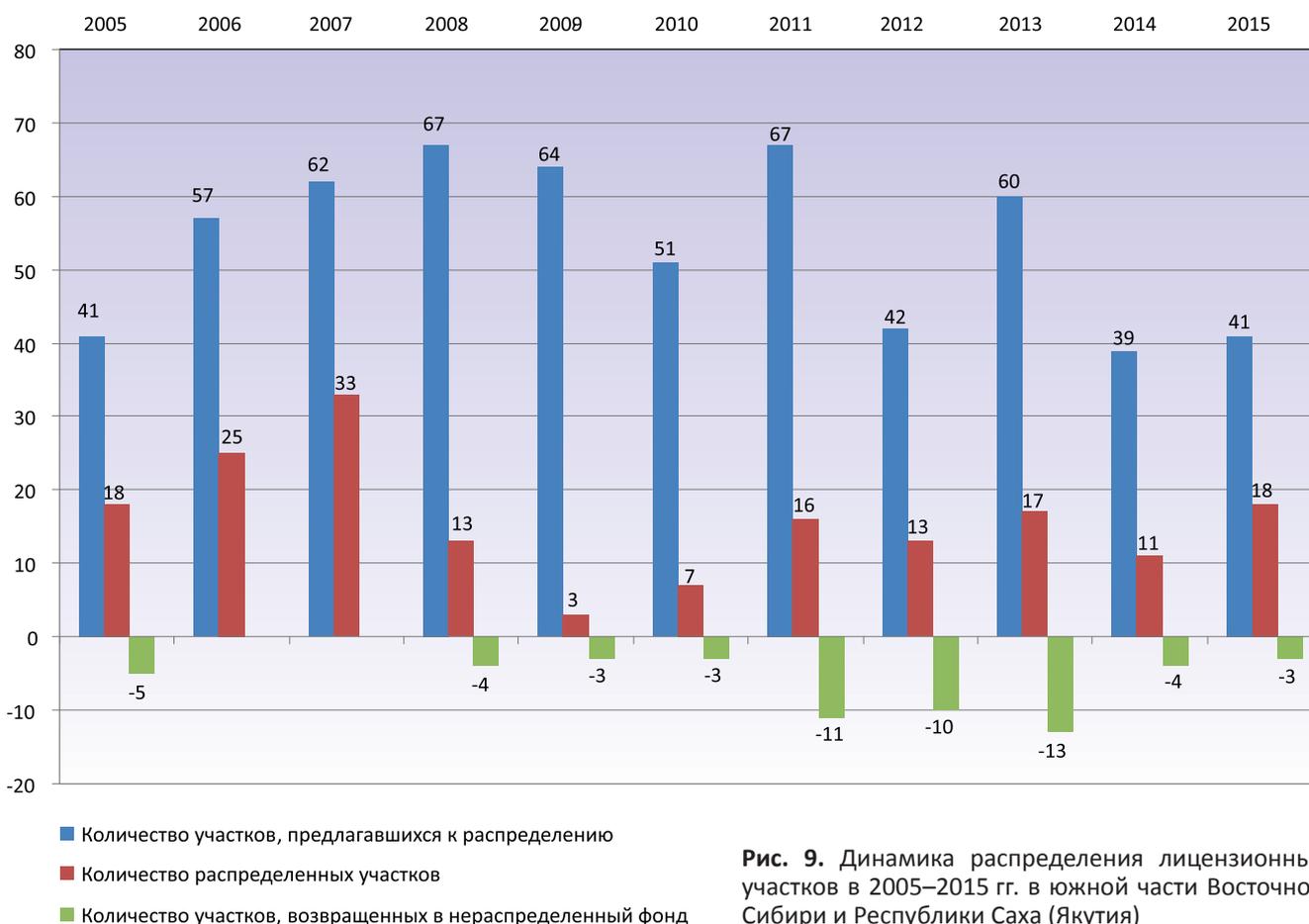


Рис. 9. Динамика распределения лицензионных участков в 2005–2015 гг. в южной части Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия)

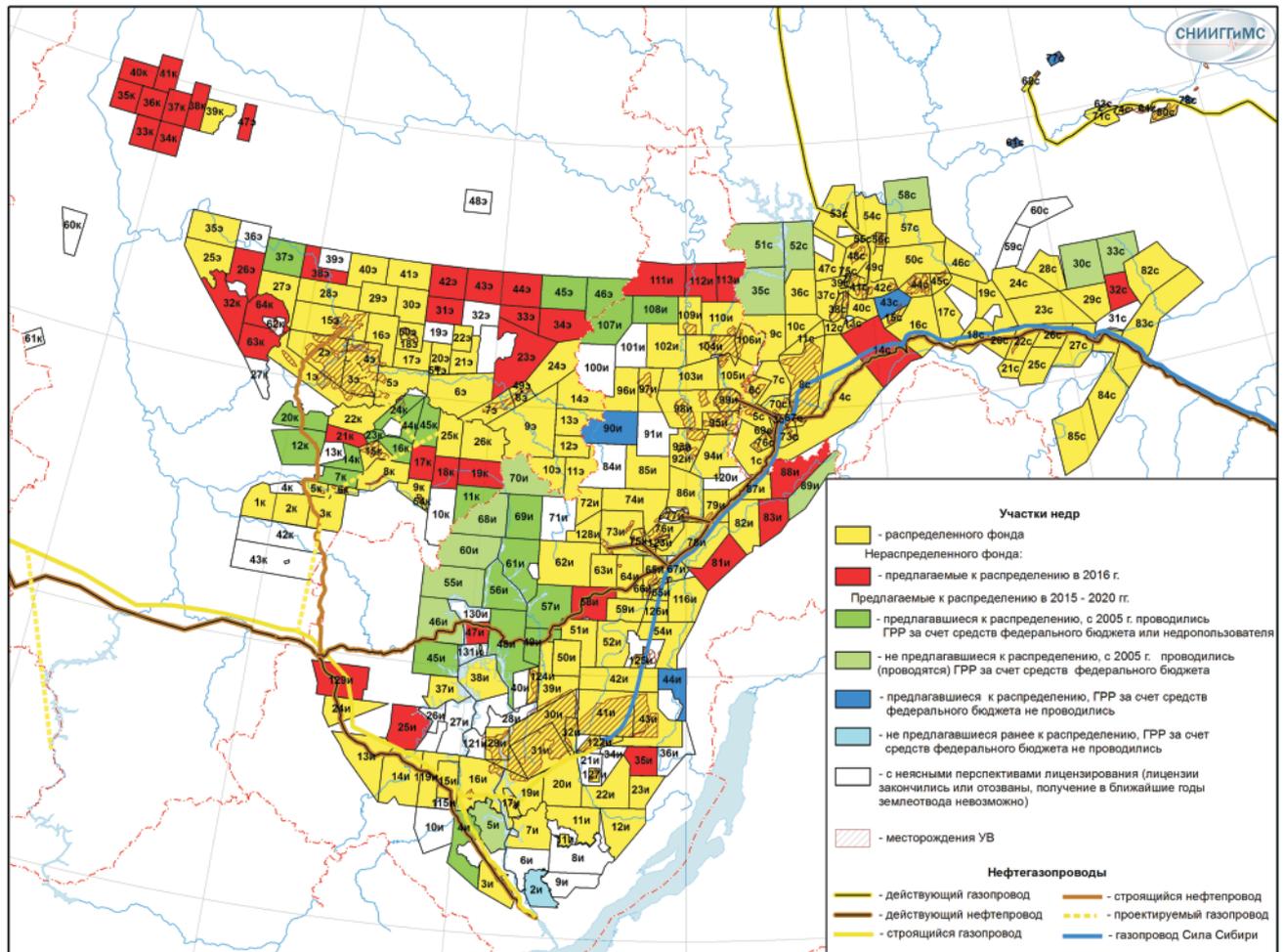


Рис. 10. Схема прогнозного лицензирования нефтегазоносных недр южных территорий Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия) на период до 2020 г. (по состоянию на 01.01.2016)

геофизических, буровых, научно-исследовательских и иных работ для ускоренной подготовки запасов в пределах перспективных центров нефтедобычи. Концентрация ГРП в районах с максимальной количественной и геолого-экономической оценкой.

4. Проведение геолого-разведочных работ поисковой стадии за счет средств федерального бюджета в пределах наиболее перспективных слабоизученных зон нефтегазонакопления.

5. Создание трубопроводной инфраструктуры для подключения удаленных месторождений к магистральному нефтепроводу.

6. Разработка реальных форм государственно-частного партнерства, соответствующих российскому законодательству, способствующих успешному решению поставленных задач.

7. Разработка единого информационного проекта «Нефть и газ ВСТО» по всем источникам информации.

Перспективы и направления дальнейшего прироста минерально-сырьевой базы

Восточносибирское направление является важнейшим для развития нефтегазового комплекса страны. Несмотря на значительный прирост запасов

и интенсивное их освоение и добычу нефти и газа в Восточной Сибири, существует большой потенциал новых открытий и соответствующий резерв площадей для постановки геолого-разведочных работ регионального и поискового этапов.

Сопоставление диаграмм с распределением количества пробуренных скважин и открытых месторождений по годам (рис. 11) наглядно демонстрирует связь объемов бурения и открытий. Причем в последние годы развитие технологий геолого-разведочных работ позволяет проводить бурение с гораздо большей эффективностью. Большое количество месторождений, в том числе крупных, открытых с возобновлением бурения на Сибирской платформе, говорит о том, что поисковый потенциал даже в пределах относительно изученных нефтегазоносных областей далеко не исчерпан.

Финансирование геолого-разведочных работ за счет средств федерального бюджета до 2020 г. основано на действующей «Программе геологического изучения и предоставления в пользование месторождений углеводородного сырья Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия)», которая является составной частью и полностью интегрирована в структуру «Долгосрочной государственной программы изучения недр и воспроизводства мине-

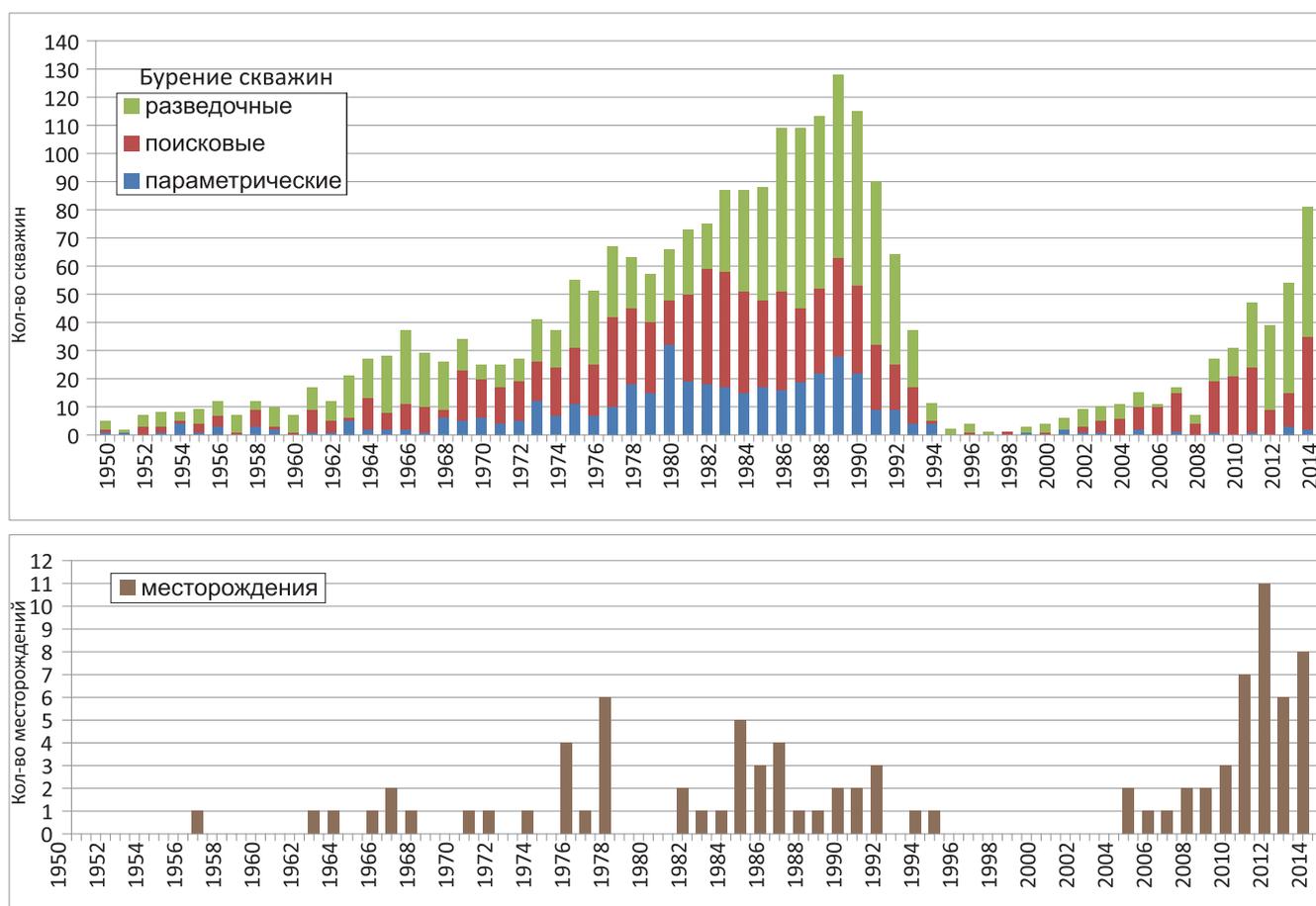


Рис. 11. Динамика открытий новых месторождений нефти и газа в Восточной Сибири и Республике Саха (Якутия)

рально-сырьевой базы России на основе баланса потребления и воспроизводства минерального сырья».

Прогноз финансирования геолого-разведочных работ за счет средств недропользователей основан на том, что основной целью их деятельности является восполнение запасов углеводородного сырья промышленных категорий (рис. 12).

В качестве объектов региональных ГРП выступают нефтеперспективные зоны – выделенные по геологическим критериям слабоизученные территории нераспределенного фонда недр, наиболее перспективные для проведения ГРП работ на нефть и газ за счет средств государственного бюджета.

Нефтеперспективные зоны Восточной Сибири сосредоточены в пределах Лено-Тунгусской НГП, осадочный чехол которой составлен отложениями рифея, венда, палеозоя и мезозоя, и Западно-Сибирской НГП с мезозойско-кайнозойским осадочным чехлом. Литологический состав пород чехла Лено-Тунгусской НГП весьма разнообразен (терригенные, карбонатные, эвапоритовые и вулканогенные толщи). Большинство толщ имеет региональное распространение. Одни из них содержат заполненные флюидами резервуары, в других резервуары редки и их относят к флюидоупорам. Резервуары находятся в основном в нижних и средних частях комплексов. Их верхние части представлены региональными покрывками. Только у рифейского НГК нет региональ-

ной покрывки, так как во время предвендского перерыва была размыта различная, нередко значительная часть рифейских образований [2].

В 2012 г. в Восточной Сибири и Томской области были выделены 12 нефтеперспективных зон (рис. 13).

1. Аргишско-Чунская нефтегазоперспективная зона выделена в центральной части Сибирской платформы и охватывает территории четырех крупных тектонических структур – северо-восточный склон Байкитской антеклизы, южный борт Курейской синеклизы, северную часть Катангской седловины и северо-западный склон Непско-Ботуобинской антеклизы.

В пределах зоны открытых месторождений нефти нет. Перспективны рифейский, вендский и верхневендско-нижнекембрийский НГК, менее перспективны кембрийский и ордовикско-девонский НГК. Генерация нефти и газа рифейскими нефтематеринскими отложениями Чунского вендрифейского осадочного бассейна [7] и последующая миграция УВ из центральных частей бассейна на восток по разуплотненным зонам вдоль поверхности несогласия между рифеем и вендом способствовали формированию на его бортах зон нефтегазонакопления. В вендском НГК перспективы связаны с песчаниками ванаварской и оскобинской свит, которые перекрываются соленосными отложениями нижнего кембрия. Восточная часть Аргишско-Чун-

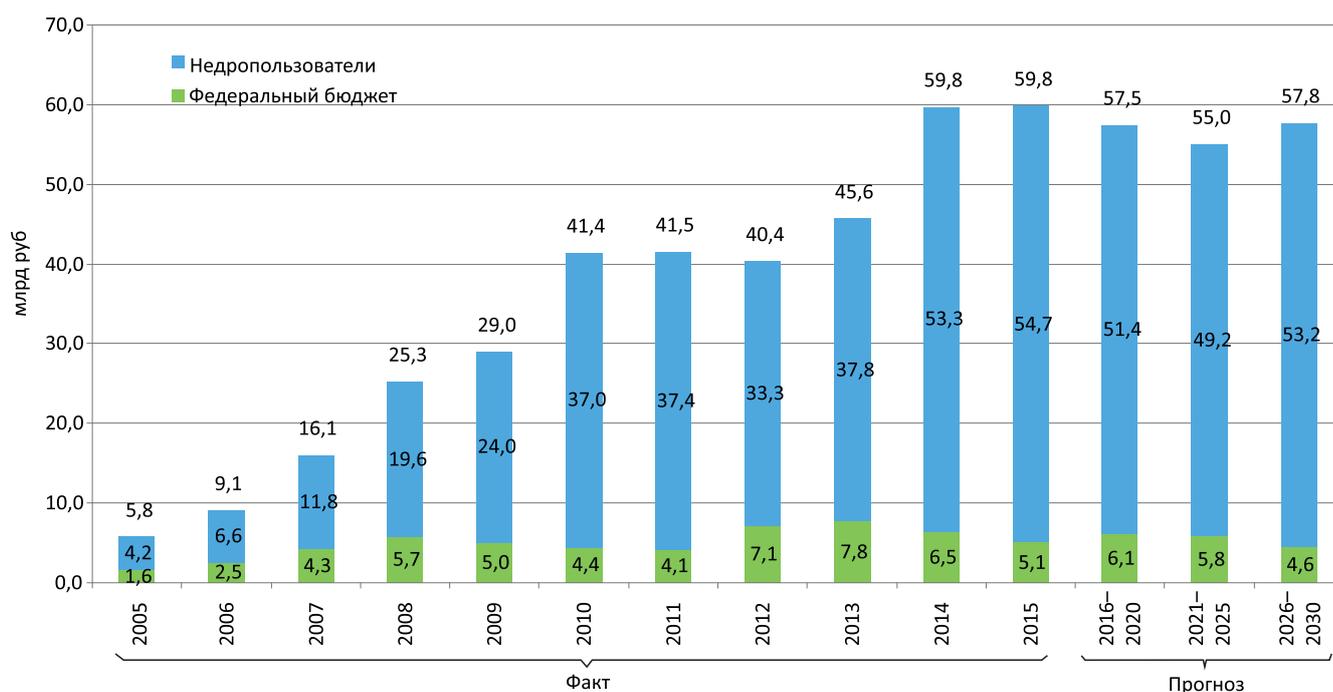


Рис. 12. Динамика финансирования геолого-разведочных работ на углеводородное сырье в Восточной Сибири и Республике Саха (Якутия)

ской зоны характеризуется отсутствием отложений рифея, малыми мощностями (вплоть до полного выклинивания) пород нижнего венда. Отсутствие верхненепской покрывки могло привести к формированию коллекторов ербогаченского и преобразованного горизонтов за счет выщелачивания элизионными водами. Таким образом, основные перспективы востока зоны связываются с верхней частью вендского, верхневендско-нижнекембрийским и кембрийским НГК [12]. Эта зона – одна из пяти первоочередных нефтеперспективных в Российской Федерации. В ней сосредоточены значительные объемы геолого-разведочных работ. Выполняются сейсморазведочные работы на Аргишско-Чунской площади. На востоке зоны завершено бурение Нижнечонской параметрической скважины, она находится в испытании. В скважине вскрыты перспективные нефтегазоносные горизонты.

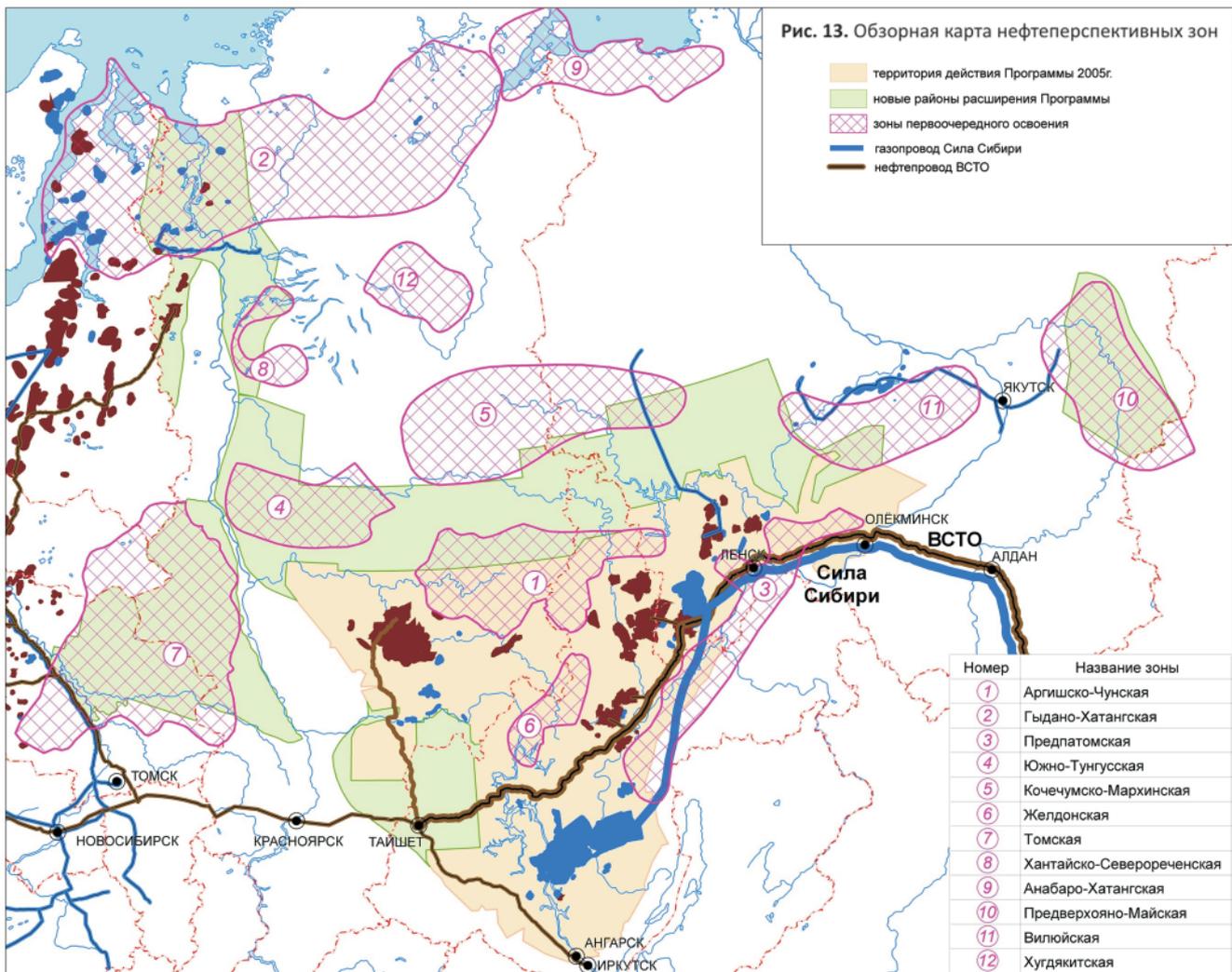
2. Гыдано-Хатангская нефтегазоперспективная зона охватывает Енисей-Хатангскую и частично Гыданскую нефтегазоносные области.

Основные перспективы открытия новых залежей УВ здесь связаны с нижнемеловыми НГК, в том числе с клиноформным комплексом неокома, в котором есть и газовые, и конденсатные, и нефтяные месторождения. Центральная часть зоны по кровле юрских отложений находится на глубинах свыше 3–4 км. Именно здесь недавно открыты месторождения нефти в пластах ачимовского типа. Нефтяные залежи обнаружены на Пайяхском нефтяном и Байкаловском нефтегазоконденсатном месторождениях. Данные сейсморазведочных работ последних лет показывают, что ачимовские отложения и, соответственно, перспективы нефтеносности распространяются на восток от выявленных залежей –

ближе к центральной части Енисей-Хатангской НГО. Гыдано-Хатангская зона, как и Аргишско-Чунская, входит в число пяти первоочередных нефтеперспективных в Российской Федерации. В зоне сосредоточены значительные объемы ГРП, выполняется и проектируется ряд объектов сейсморазведочных работ. В бурении находится сверхглубокая Гыданская параметрическая скв. 130 с проектным забоем 7150 м. В 2016 г. планируется начало строительства Новоякимовской параметрической скважины глубиной 5000 м с целью изучения ачимовских и нижнеюрских отложений.

3. Предпатомская нефтеперспективная зона полукольцом огибает Байкало-Патомское нагорье, занимает основную часть Предпатомского регионального прогиба и узкие приграничные участки Ангаро-Ленской ступени и Непско-Ботубобинской антеклизы.

Основой для выделения зоны является ее расположение на борту рифейского бассейна на пути миграции углеводородов. Характерная особенность строения осадочного чехла – осложненность складчато-надвиговыми дислокациями, что позволяет разделить его на авто- и аллохтонную части. Поверхность раздела (детachment) на основной территории зоны приурочена к солям тирской (бюкской) свиты венда [5]. Основные перспективы нефтегазоносности Предпатомской зоны связаны с терригенными отложениями венда, карбонатными – нижнего кембрия и, возможно, с породами рифея. Залежи УВ в карбонатных образованиях верхневендско-нижнекембрийского и кембрийского НГК связаны с нарушенной аллохтонной частью разреза, которая характеризуется развитием контрастных складчато-надвиговых валов. В автохтоне, имеющем блоковое строение, возможно развитие коллекторов,



связанных со шлейфами обломочных пород на склонах дотирских палеоподнятий. Промышленные притоки газа были получены на Отраднинском месторождении. В северо-восточной части зоны потенциально продуктивны карбонатные отложения рифея, промышленные притоки газа из которых были получены на Бысахтахском месторождении. В рассматриваемой зоне можно ожидать обнаружение блоковых, литологических и тектонических экранированных ловушек.

4. Южно-Тунгусская нефтеперспективная зона занимает центральную часть одноименной НГО и охватывает западные части систем кембрийских рифов Сибирской платформы.

Наиболее древняя система рифов включает моктаконские краевые рифы в осинском горизонте (низы нижнего кембрия). В Моктаконской скв. 1 получена нефть (93 м³/сут) из рифа и газ (2 млн м³/сут) из структуры его облекания. Покрышкой продуктивных пластов является вышележащая бурусская соленосно-ангидрито-доломитовая свита. Средний уровень кембрийских краевых рифов установлен в тойонском ярусе и низах амгинского (нижний и средний кембрий). Высота этих (таначи-дельтулинских) рифовых построек достигает 500 м, их газоносность установлена на Таначинской площади; глубины их

залегания 2200–2600 м. Покрышкой рифов является глинисто-доломитовая летнинская свита. Краевые рифы окаймляют субширотный Тынепский прогиб, выполненный образованиями среднего кембрия. В основании прогиба залегает глинисто-карбонатная нефтематеринская толща, в отдельных пластах которой содержание $C_{орг}$ достигает 3–10%. Выше находится толща верхнеамгинских известняков, в которой на глубинах 2300–2500 м фиксируются одиночные рифы высотой 150–200 м. Известняки перекрыты толщей солей и доломитов майского яруса среднего кембрия. По данным сейсморазведки на западе Тынепского прогиба намечены одиночные рифы, ожидается их распространение по всему прогибу. Это верхний целевой горизонт ГРП в Южно-Тунгусской зоне.

5. Кочечумо-Мархинская нефтеперспективная зона располагается на северо-восточной окраине Северо-Тунгусской НГО, на сочленении Курейской синеклизы и Анабарской антекклизы. Территория исследована крайне слабо, даже на региональном уровне. Месторождений и залежей УВ пока не выявлено.

Зона характеризуется наличием на оптимальных глубинах (от 1,5 до 4,0 км) нескольких уровней потенциально перспективных карбонатных отложений



нижнего палеозоя, которые чередуются с регионально распространенными карбонатно-глинистыми толщами, в том числе черносланцевыми (доманикоидными). В кембрийское время здесь простирался гигантский Хантайско-Оленекский бассейн с развитой в нем нефтематеринской куонамской формацией. С юга он обрамлялся мощным (до 700 м) рифовым поясом, который ограничивал с севера соленосную внутришельфовую область. Этот комплекс представлен кавернозными органогенно-обломочными доломитизированными известняками и перекрывается 300–350-метровой толщиной отмельно-баровых пористо-кавернозных доломитов с пористостью до 25–30%. Рифовый пояс сопряжен с черносланцевым нефтематеринским бассейном и перекрыт мощной толщиной карбонатно-глинистых сульфатонесных отложений среднего – верхнего кембрия. Это исключительно перспективный объект для поисков залежей УВ. В ордовике наиболее перспективен средний отдел (чередование терригенных песчаных и глинисто-алевритовых отложений, перекрытых комплексом глинисто-известняковых отложений среднего ордовика). На силурийском уровне потенциальным коллектором являются преимущественно кораллово-строматопоратовые известняки, охватывающие верхнюю часть нижнего силура и перекрытые комплексом сульфато-доломитовых отложений верхнего силура.

6. Желдонская нефтегазоперспективная зона выделена в зоне сочленения Ангаро-Ленской НГО с Присяяно-Енисейской, Катангской и Непско-Ботубинской НГО.

Перспективы нефтегазоносности связываются с рифейскими и терригенными вендскими горизонтами непской свиты. Здесь, на борту рифейского бассейна, ожидается наличие проницаемых зон, по которым УВ из рифейских нефтематеринских толщ Присяяно-Енисейской синеклизы и Катангской седловины могут проникать в вендские терригенные продуктивные горизонты Ангаро-Ленской ступени и Непско-Ботубинской антеклизы. Глинистые карбонаты венда и соли усольской свиты нижнего кембрия являются региональными покрывками предполагаемых скоплений нефти и газа. Эта особенность геологического строения была основой для прогноза нефтеперспективной зоны со структурно-литологическими и тектонически ограниченными залежами. Бурение Желдонской параметрической скважины показало, что вендские терригенные горизонты обладают хорошими коллекторскими свойствами, но в структурном плане зона представляет собой моноклинал, поэтому пласты водонасыщенны. Таким образом, перспективы дальнейшего изучения Желдонской зоны, отодвигаются на неопределенный срок.

7. Томская нефтегазоперспективная зона относится к Предъенисейской (большая часть), Пайдугинской и Васюганской НГО Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Месторождений в пределах зоны не выявлено. Наиболее перспективными для поисков зале-

жей нефти и газа считаются нижнеюрский НГК, палеозойский НГГЗК и палеозойский НГК (внутренние горизонты). В пределах Райгинско-Ажарминской гряды выделен ряд нефтегазоперспективных объектов в отложениях венда. Перспективы обнаружения залежей нефти и газа нижнеюрского НГК и зоны контакта с породами доюрского основания связаны с западным склоном Пудинского мегавала с доказанной промышленной нефтегазоносностью. Ожидается наличие палеоврезов и зон выклинивания нижнеюрских отложений на выступах фундамента. К перспективной в плане обнаружения залежей углеводородов относится Западно-Кольчумская антиклиналь с массивным органогенно-строматолитовым коллектором порово-каверно-трещинного типа в венд-нижнекембрийских и рифейских отложениях.

8. Хантайско-Северореченская нефтеперспективная зона расположена в области сочленения Северо-Тунгусской НГО и Турухано-Норильского самостоятельного нефтегазоносного района (СНГР).

На территории Хантайской подзоны основными нефтегазоперспективными являются девонско-ордовикские и частично верхнекембрийские комплексы. Коллекторы связаны с трещинно-кавернозными органогенными известняками девона, верхнего силура и частично кембрия и с хорошо отсортированными среднезернистыми песчаниками среднего ордовика. Наличие надежных флюидопоров (соляные пласты девона), а также существование на западе структурного мыса (долеритового барьера, который экранирует миграционный поток УВ из глубоко прогнутого Ламско-Хантайского мегапрогиба) позволяет рассчитывать на формирование в Хантайской подзоне крупного многозалежного скопления углеводородов. Перспективные на нефть и газ комплексы Сухарихинско-Мундусской и Северореченской подзон существенно отличаются от хантайских: в первой основные продуктивные горизонты можно ожидать в трещинно-кавернозных карбонатах рифея, во второй – в трещинно-каверновых карбонатах венда – нижнего кембрия, перекрытых глинистыми карбонатами тех же возрастов. Здесь, вероятнее всего, ожидаются ловушки антиклинальные, тектонически экранированные, а также, возможно, рифогенные постройки силурийского возраста [10].

9. Анабаро-Хатангская нефтегазоперспективная зона охватывает большую часть территории Анабаро-Хатанской и практически всю территорию Лено-Анабарской нефтегазоносных областей (НГО).

Доказанная нефтегазоносность Анабаро-Хатанской зоны связана с верхнепалеозойским и нижнемезозойским (триасовым) осадочными комплексами. Здесь открыты небольшие нефтяные месторождения на четырех поисковых площадях, значительные дебиты газа получены из нефтенасыщенных интервалов на Чайдахском локальном поднятии. Залежи УВ связаны с пермскими и триасовыми от-

ложениями. Надежные структурные построения отсутствуют, тем не менее в результате геофизических и геолого-съёмочных работ в палеозойских отложениях закартированы многочисленные блоковые и антиклинальные структуры, осложненные соляными куполами и штоками. Основные перспективы нефтегазоносности здесь связываются с глубоко залегающими подсолевыми отложениями, где по данным сейсморазведки прогнозируются крупные ловушки нефти и газа, вероятнее всего рифогенной природы [1].

10. Предверхожно-Майская нефтегазоперспективная зона занимает практически всю Алдано-Майскую НГО, север зоны относится к Предверхожно-Майской НГО.

Изначально наибольший интерес представляла восточная часть Алдано-Майской впадины, где в едином вертикальном разрезе наблюдается переслаивание терригенных и карбонатных мощных толщ, являющихся потенциальными коллекторами и флюидоупорами. Песчаники верхнего рифея здесь перекрываются карбонатами, глинисто-карбонатными породами юдомской серии венда, а базальные терригенные слои верхнеюдомской серии – вышележащими карбонатными, глинисто-карбонатными породами сарданинской и пестроцветной свит. При благоприятных фациально-тектонических условиях здесь могли формироваться залежи нефти и газа. Бурение Усть-Майской параметрической скважины показало, что перспективных коллекторов в разрезе нет. Таким образом, изучение этой части может быть продолжено только после получения новых геолого-геофизических данных, а дальнейшие перспективы могут связываться с северными районами зоны.

11. Южно-Виллюйская нефтегазоперспективная зона охватывает южную и юго-западную части одноименной нефтегазоносной области и частично Западно-Виллюйскую и Северо-Алданскую НГО.

Перспективы связаны с последовательным сокращением мощности пермских, триасовых и юрских отложений в южном направлении, вплоть до выклинивания нижнепермских и триасовых отложений. Это создает предпосылки для формирования стратиграфических и литолого-стратиграфических ловушек, находящихся на путях миграционных потоков УВ [8]. Кроме того, перспективно сочетание в составе кембрийских отложений пород куонамского комплекса отложений (одни из лучших нефтематеринских пород в осадочном чехле Сибирской платформы, которые практически на всей территории зоны претерпели интенсивные катагенетические преобразования) и синхронных рифогенно-обломочных образований, замещающих куонамские в направлении с востока на запад. Рифогенно-обломочные отложения среднекембрийского возраста перекрывают куонамские и являются наиболее перспективными. Сами породы куонамской свиты могут быть источниками сланцевой нефти. В Южно-

Виллюйской нефтеперспективной зоне планируется проведение значительных объемов сейсморазведочных работ.

12. Худякитская нефтеперспективная зона располагается в восточной половине северной части Северо-Тунгусской НГО и крайней западной части Анабарской НГО, в пределах Путоранского выступа и западного склона Анабарской антеклизы.

Перспективы основаны на пространственном сочетании наиболее глубоких (более 10 км) крупных отрицательных структур платформенного чехла и смежных поднятий – потенциальных зон нефтегазонакопления. Продуктивные горизонты могут быть связаны с трещиновато-каверновыми коллекторами в органогенных карбонатах девона, силура, нижнего кембрия и венда, поровыми коллекторами – в песчаниках ордовика, венда и, возможно, верхнего палеозоя. В качестве региональных флюидоупоров помимо туфогенно-эффузивной толщи пермо-триаса могут быть выделены девонские соленосные пачки и венд-силурийские глинистые карбонатные. Наиболее вероятные ловушка – это антиклинали, экранированные трапповыми интрузиями, или благоприятные сочетания силлов с подводящими их дайками на моноклиналях. О потенциале нефтегазоносности можно судить и по аномалиям в поверхностных водотоках и водоемах, уникальным по набору тяжелых углеводородов [10].

Региональные геолого-разведочные работы в среднесрочной перспективе планируются как в зонах с достаточной изученностью (для обеспечения прироста ресурсной базы в ближайшие годы), так и в слабоизученных (для обеспечения непрерывности воспроизводства ресурсной базы в будущем).

Первоочередными нефтеперспективными зонами, на которых в ближайшие годы будут сконцентрированы геолого-разведочные работы являются Гыдано-Хатангская и Аргишко-Чунская. Здесь выполняются и проектируются региональные сейсморазведочные работы 2D. Проектируется также бурение параметрических скважин.

В 2016 г. продолжалось изучение Южно-Виллюйской зоны сейсморазведочными работами 2D и бурением параметрической скважины в Кочечу-Мархинской зоне.

В среднесрочной перспективе намечено изучение сейсморазведочными работами и параметрическим бурением Предпатомской, Южно-Тунгусской Хантайско-Северореченской и Худякитской перспективных зон.

Анабаро-Хатангская зона является высокоперспективной, и значительные перспективные участки на западе зоны перешли в распределенный фонд недр. Таким образом, работы регионального этапа на этой территории будут завершаться недропользователями.

Перспективы нефтегазоносности и границы Желдонской и Предверхожно-Майской зон будут

уточнены по результатам анализа бурения Желдонской и Усть-Майской параметрических скважин.

Геолого-экономическая оценка нефтеперспективных зон

Методика проведения геолого-экономической оценки ресурсов перспективных нефтегазоносных зон подробно описана в работе [3], основанной на результатах государственных контрактов на выполнение количественной (2010–2012 гг.) и геолого-экономической (2013–2014 гг.) оценки ресурсов нефти, газа и конденсата Российской Федерации. Работы осуществлены по заказу Федерального агентства по недропользованию (Роснедра) специалистами ведущих региональных научно-исследовательских институтов нефтяного профиля в системе Роснедра.

Для каждой из рассмотренных нефтегазоносных зон геолого-экономическая оценка ресурсов УВ проведена с учетом ограничений по объемам, темпам и срокам ГРП. Как следствие, на любом ограниченном отрезке времени в запасы может быть переведена лишь часть ресурсов, что на практике обычно учитывается применением так называемых переводных коэффициентов.

В качестве единичного объекта геолого-экономической оценки рассматривается типовая (для НГК, типов флюидов, типов ловушек и классов крупности) прогнозируемая по результатам количественной оценки залежь с запасами УВ промышленных категорий, которая потенциально может быть открыта в результате проведения комплекса ГРП и в дальнейшем стать самостоятельным объектом разработки.

Геолого-экономическая оценка проводится по результатам определения оценки единичных объ-

ектов различной крупности, их распределения по НГО и НГК, доли рентабельных объектов в каждой группе, а также прогноза динамики открытий единичных объектов по каждой перспективной зоне на период 2015–2030 гг. Исходя из этих данных прогнозируются прирост запасов нефти и газа на рентабельных объектах и затраты на их подготовку за счет недропользователей и госбюджета, технико-экономические показатели разработки рентабельных залежей и показатели эффективности освоения этих залежей в динамике.

Полученные результаты позволяют выделить территории, наиболее привлекательные с точки зрения прогнозируемого дохода недропользователя, – Аргишско-Чунская, Гыдано-Хатангская и Предпатомская зоны. Максимальная прогнозируемая годовая добыча с учетом сроков ввода прогнозируемых к открытию месторождений в эксплуатацию в данных зонах суммарно может составить до 30 млн т нефти и 50 млрд м³ газа. Здесь сосредоточен основной ресурсный потенциал, далее следуют Южно-Тунгусская, Кочечумо-Мархинская, Желдонская, Томская, Хугдякитская, Хантайско-Северореченская, Анабаро-Хатангская, Предверхожно-Майская и Южно-Виллюйская зоны.

Для каждой зоны определены такие показатели, как объемы геолого-разведочных работ, прогноз открытий залежей и затраты на освоение. В качестве примера приведены некоторые значения показателей по наиболее перспективной Аргишско-Чунской зоне. Как уже говорилось, потенциальный прирост рентабельных запасов может составить 590 млн т нефти и 847 млрд м³ газа, можно ожидать открытия четырех крупных месторождений.

На основании результатов количественной оценки ресурсов УВ по НГО для каждой зоны опре-

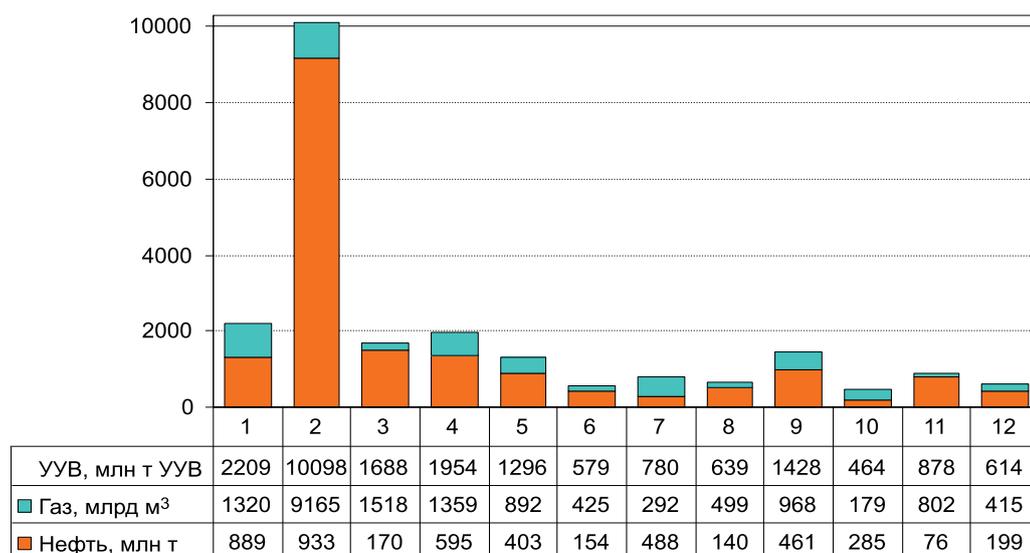


Рис. 14. Прогнозные и перспективные ресурсы (количественная оценка 2009 г.)

Нефтегазоперспективные зоны: 1 – Аргишско-Чунская, 2 – Гыдано-Хатангская, 3 – Предпатомская, 4 – Южно-Тунгусская, 5 – Кочечумо-Мархинская, 6 – Желдонская, 7 – Томская, 8 – Хантайско-Северореченская, 9 – Анабаро-Хатангская, 10 – Предверхожно-Майская, 11 – Южно-Виллюйская, 12 – Хугдякитская

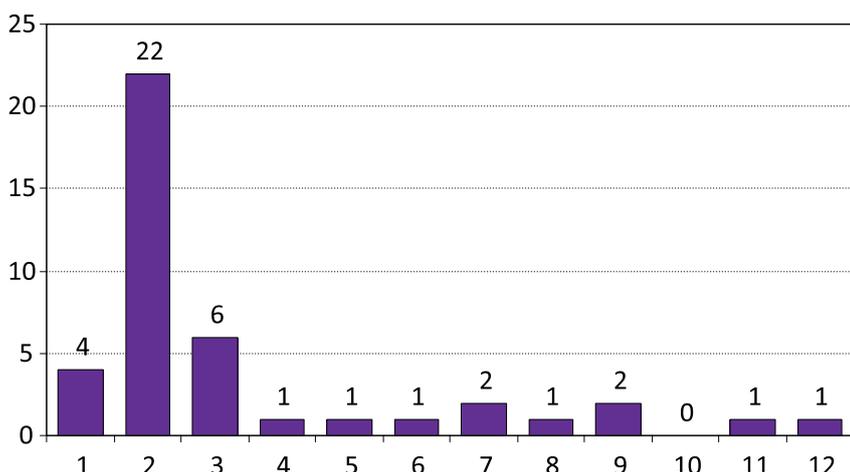


Рис. 15. Прогноз открытий крупных залежей в пределах перспективных зон (более 30 млн т УУВ)

Нефтегазоперспективные зоны: 1 – Аргишско-Чунская, 2 – Гыдано-Хатангская, 3 – Предпатомская, 4 – Южно-Тунгусская, 5 – Кочечумо-Мархинская, 6 – Желдонская, 7 – Томская, 8 – Хантайско-Северореченская, 9 – Анабаро-Хатангская, 10 – Предверхоьяно-Майская, 11 – Южно-Вилюйская, 12 – Хугдякитская

делены объемы прогнозных и перспективных ресурсов (рис. 14).

Для определения количества и масштаба единичных объектов выполняется прогноз распределения залежей по классам крупности с использованием распределения Парето [4], согласно которому в значительном по объему ресурсов районе число открытых залежей обратно пропорционально их размеру. На рис. 15 представлен прогноз открытия залежей крупностью больше 30 млн т (млрд м³) нефти (природного газа).

Анализ возможного прироста рентабельных запасов и затрат на ГРП, необходимых для его достижения, показал, что наиболее привлекательными с точки зрения отношения вложений в геологоразведку к получаемому приросту запасов являются Аргишско-Чунская, Гыдано-Хатангская, Предпатомская и Южно-Тунгусская зоны.

Добыча углеводородного сырья

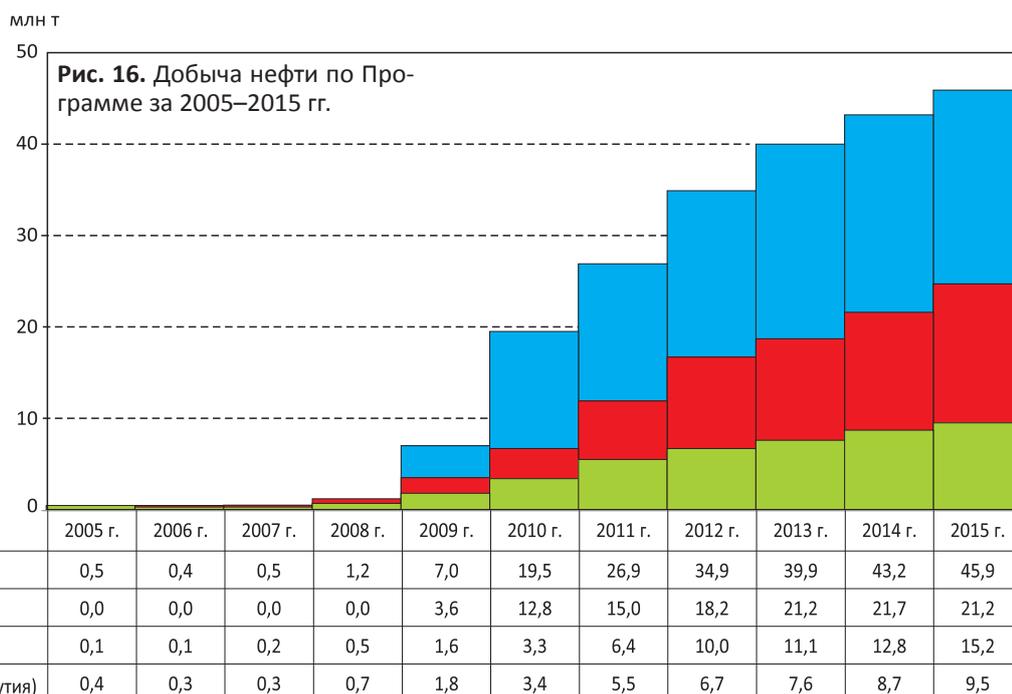
В связи с пуском нефтепровода ВСТО началась интенсивная эксплуатация ряда нефтяных место-

рождений в Восточной Сибири и Республике Саха (Якутия). Добыча нефти возрастает с каждым годом: с 0,5 млн т в 2005 г. до 45,9 млн т в 2015 г., накопленная добыча 219,9 млн т (рис. 16).

Долгосрочное поддержание годовых поставок нефти на необходимом для функционирования трубопровода ВСТО уровне возможно за счет вовлечения в изучение и последующее освоение перспективных и прогнозных ресурсов нефти Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия). Согласно прогнозам в соответствии с действующей редакцией Программы выйти на уровень годовых поставок нефти 80 млн т планируется к 2025 г. (рис. 17).

В 2017 г. введен в эксплуатацию участок магистрального нефтепровода «Куомба – Тайшет» пропускной способностью до 8,6 млн т нефти в год. Это первый этап, второй этап предусматривает завершение строительства нефтепровода мощностью до 15 млн т в год в конце 2023 г.

Первый стык уникальной газотранспортной системы «Сила Сибири» сварен 1 сентября 2014 г.



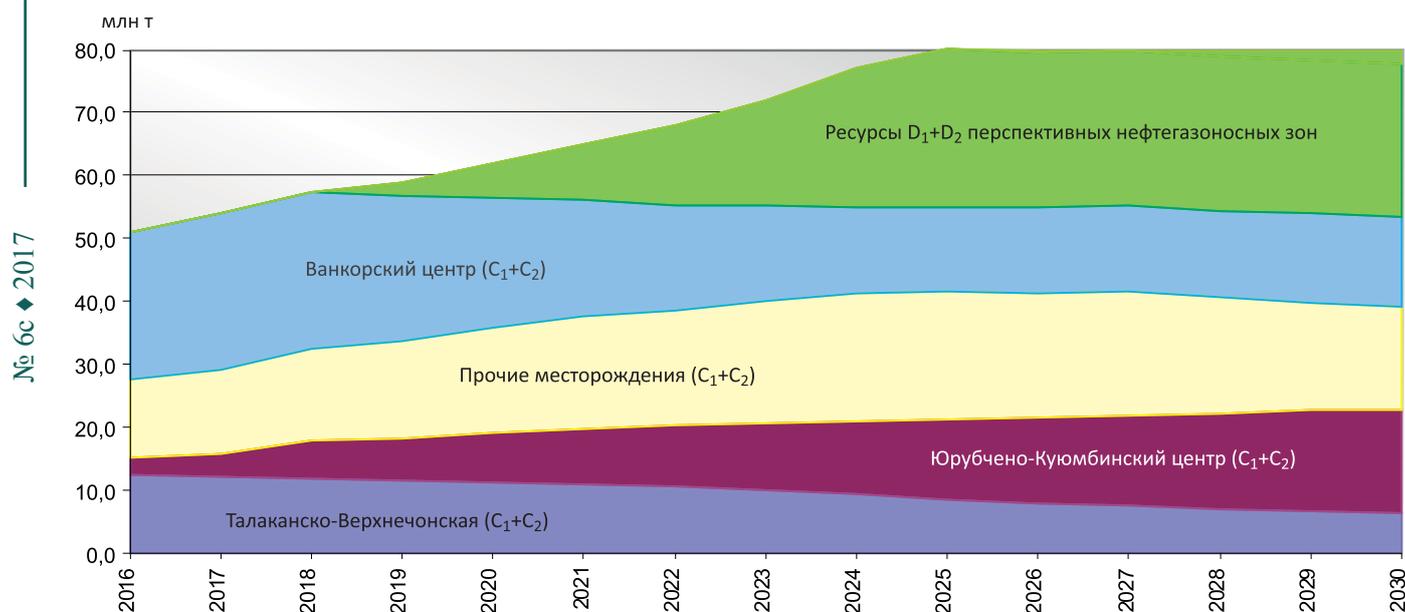


Рис. 17. Прогноз нефтедобычи по перспективным центрам, зонам и территории Программы в целом

Газопровод пройдет по территории пяти субъектов РФ – по Иркутской области, Республике Саха (Якутия), Амурской области, Еврейской автономной области и Хабаровскому краю. Общая протяженность составит около 4000 км, проектная производительность – 38 млрд м³ газа в год. К концу 2018 г. будет построен участок от Чаяндинского месторождения в Якутии до Благовещенска протяженностью более 2200 км. В дальнейшем запланировано строительство участка от Ковыктинского месторождения в Иркутской области до Чаяндинского (около 800 км), а в перспективе – от г. Свободного в Амурской области до Хабаровска (около 1000 км). Таким образом, «Сила Сибири» соединится с ГТС «Сахалин – Хабаровск – Владивосток».

Строительство газопровода кардинально меняет ситуацию в газовой отрасли Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия), повышает интерес к геолого-разведочным работам, приросту запасов и делает востребованными новые лицензионные участки. Подтверждением этому стала развернувшаяся борьба за право владения недрами на аукционах, прошедших в 2014 г. в Республике Саха (Якутия) по Нижнеджербинскому, Среднебиурюкскому, Кэдэргинскому и Мурбайскому участкам. Сумма предложенных бонусов составила 1085,75 млн руб. против первоначальной цены 54,27 млн руб., т. е. выросла в 20 раз. На аукционах в Иркутской области по Верхнетирскому и Верхненепскому участкам разница между заявленной и фактически выплаченной ценой увеличилась более чем на порядок (454,9 против 17,68 млн руб.).

Выводы

Таким образом, за время реализации Программы на территории Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия) появился новый крупный нефтедобывающий район России. В связи с началом

строительства газопровода «Сила Сибири» создастся газовая отрасль с перспективой добычи газа не менее 60 млрд м³ в год. За последние годы осуществлен прирост запасов углеводородного сырья, который может обеспечить рост добычи до 2020 г. В то же время Восточная Сибирь и Республика Саха (Якутия) обладают существенным потенциалом для дальнейшего наращивания сырьевой базы нефтяной и газовой промышленности, которое может быть обеспечено при интенсификации геолого-разведочных работ и выходе в новые перспективные районы.

Для дальнейшего развития сырьевой базы нефти, поддержания ее добычи в объемах 50 млн т в год и подготовки ресурсной базы для строительства III очереди нефтепровода ВСТО мощностью 80 млн т в год необходимо организовать системные поисковые работы в перечисленных зонах. Нет сомнений, что опосредованное открытие этих зон позволит обнаружить новые месторождения нефти, разведка и эксплуатация которых позволит обеспечить наполнение трубопроводной системы ВСТО на несколько десятилетий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Девятов В. П., Савченко В. И. Новые данные к переоценке ресурсов углеводородов Анабаро-Ханганской нефтегазоносной области // Геология нефти и газа. – 2012. – № 1. – С. 55–61.
2. Мельников Н. В. Нефтегазоносные комплексы Лено-Тунгусской провинции // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37, № 8. – С. 196–205.
3. Методика геолого-экономической оценки ресурсов и ее применение для углеводородного сырья Восточной Сибири / А. А. Герт, Д. В. Мильев, К. Н. Кузьмина и др. // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2015. – № 2. – С. 31–41.



4. **Методическое** руководство по количественной и экономической оценке ресурсов нефти, газа и конденсата России. – М.: ВНИГНИ, 2000. – 189 с.

5. **Мигурский А. В., Ефимов А. С., Старосельцев В. С.** Новые направления нефтегазопроисковых работ в Предпатомском региональном прогибе (Сибирская платформа) // Геология нефти и газа. – 2012. – № 1. – С. 19–27.

6. **Оценка** величины и достоверность потенциальных ресурсов углеводородов Сибирской платформы и выбор наиболее эффективных направлений развития поисково-разведочных работ на газ и нефть / А. И. Варламов, А. С. Ефимов, П. Н. Мельников, В. С. Старосельцев // Матер. XV Координационного геол. совещ. ОАО «Газпром». – М., 2010. – С. 114–134.

7. **Перспективы** нефтегазоносности Чуньского рифей-вендского осадочного бассейна на западе Сибирской платформы / Н. В. Мельников, Ю. А. Филиппов, В. И. Вальчак и др. // Геология и геофизика. – 2008. – № 3. – С. 235–243.

8. **Погодаев А. В., Ситников В. С., Буйдылло И. В.** Перспективы нефтегазоносности и приоритетные направления дальнейших поисковых работ

в Вилуйской нефтегазоносной области (Сибирская платформа) // Геология нефти и газа. – 2015. – № 2. – С. 6–16.

9. **Состояние** и перспективы развития минерально-сырьевой базы нефти и газа Восточной Сибири и Республики Саха / А. И. Варламов, А. А. Герт, А. С. Ефимов и др. // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 8. – С. 3–8.

10. **Старосельцев В. С., Дивина Т. А.** Перспективы обнаружения крупных скоплений углеводородов на северо-западе Сибирской платформы // Приоритетные направления поисков крупных и уникальных месторождений нефти и газа. – М.: Геоинформмарк, 2004. – С. 118–125].

11. **Сырьевая** обеспеченность нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» / А. А. Герт, П. Н. Мельников, К. Н. Волкова и др. // Регион: экономика и социология. – 2006. – № 4. – С. 198–208.

12. **Филиппов Ю. А., Мельников Н. В., Ефимов А. С.** Нижне-среднекембрийский рифогенный барьер на севере Сибирской платформы – объект первоочередных нефтегазопроисковых работ // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – № 2(18). – С. 25–34.

© А. И. Варламов, А. А. Герт, П. Н. Мельников, А. С. Ефимов, М. Ю. Смирнов, Е. В. Смирнов, 2017



УДК 551.243/.244:553.98.044(571.5)

ИСТОРИКО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

В. С. Старосельцев

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

Рассмотрено влияние историко-тектонических особенностей Сибирской платформы на ее нефтегазоносность. Особое внимание уделено отражению в современном рельефе тектонических элементов чехла и фундамента Сибирской платформы. К ним относятся трансрегиональные линеаменты длительного развития, региональные разрывы, крупные поднятия и опускания с учетом их возможных подвижек под воздействием региональных движений. На конкретных примерах оценена роль таких элементов в формировании новых объектов, перспективных на углеводородное сырье.

Ключевые слова: Сибирская платформа, трансрегиональные линеаменты, региональные разрывы, подвижки блоков фундамента, прогноз нефтегазоперспективных объектов.

TECTONIC EVOLUTION BACKGROUND OF OIL AND GAS OCCURRENCE IN THE SIBERIAN PLATFORM

V. S. Staroseltsev

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

The paper considers the reflection of tectonic elements of the Siberian Platform basement and cover in the current terrain, associated with transregional lineaments with a long period of evolution, regional faults, large highs and dips, the western boundary of the platform, and their possible movements affected by regional movements. The role of such elements in the formation of new objects promising for hydrocarbons was estimated based on specific examples.

Keywords: Siberian Platform, transregional lineaments, regional faults, basement block movements, prediction of oil and gas targets.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6с-68-79

В современном рельефе достаточно четко прослеживается отражение западной границы Анабарской раннеархейской складчатой системы [1], совпадающей с выделенным Б. Б. Броком [15] Таймыро-Малазийским трансрегиональным субмеридиональным линеаментом (рис. 1) и в настоящее время глубоко погруженной. На юге на расстоянии около 400 км она следует субпараллельно субмеридиональному течению р. Киренга (приток р. Лена), затем около 700 км – параллельно субмеридиональному течению верховьев р. Ниж. Тунгуска, а далее (около 400 км) – нижнему течению р. Котуй. Это заслуживает первоочередного внимания. Не менее интересно соотношение восточной границы Анабарской раннеархейской складчатой системы (также глубоко погруженной) с карманообразными изгибами рек Лена, Вилюй и Оленек (см. рис. 1). Возникает естественный вопрос: неужели границы раннеархейского блока фундамента Сибирской платформы могут оказывать влияние на формирование современной гидросети? Когда подобная граница контролируется трансрегиональным линеаментом длительного развития, как, например, упомянутая западная граница Анабарского блока, это не вызывает особых проблем. Но влияние восточной границы этого же блока на формирование разобщенных в пространстве на сотни километров карманообразных изгибов современных рек (Лена, Вилюй и Оленек) требует дополнительного исследования.

Наиболее вероятное объяснение особенностей современной гидросети вдоль восточной границы раннеархейского Анабарского блока фундамента Сибирской платформы состоит в его непосредственном контакте по этой границе (см. рис. 1) с Иенгским массивом Алдано-Тимптонской и Олекминской складчатых систем, которые в юрско-меловое и даже в четвертичное время могли испытывать интенсивное надвигание на север от Станового хребта с формированием Пристанового предгорного прогиба (рис. 2). Такая тектоническая обстановка вполне могла обусловить субгоризонтальные тектонические перемещения вдоль восточного ограничения раннеархейского Анабарского блока.

Более развернутый анализ взаимоотношения блоков фундамента древней Сибирской платформы и развитой на ее территории современной гидросети свидетельствует о многовариантных комбинациях их проявления. Но во всех случаях они могут играть важную роль в обосновании постановки разнообразных тематических, поисковых и геолого-разведочных работ, нацеленных на обнаружение широкого круга важных для народного хозяйства полезных ископаемых. В первую очередь это может повысить эффективность поиска и обнаружения новых скоплений углеводородного сырья, которое обладает высокой мобильностью перемещения и накопления в благоприятных структурно-литологических условиях.

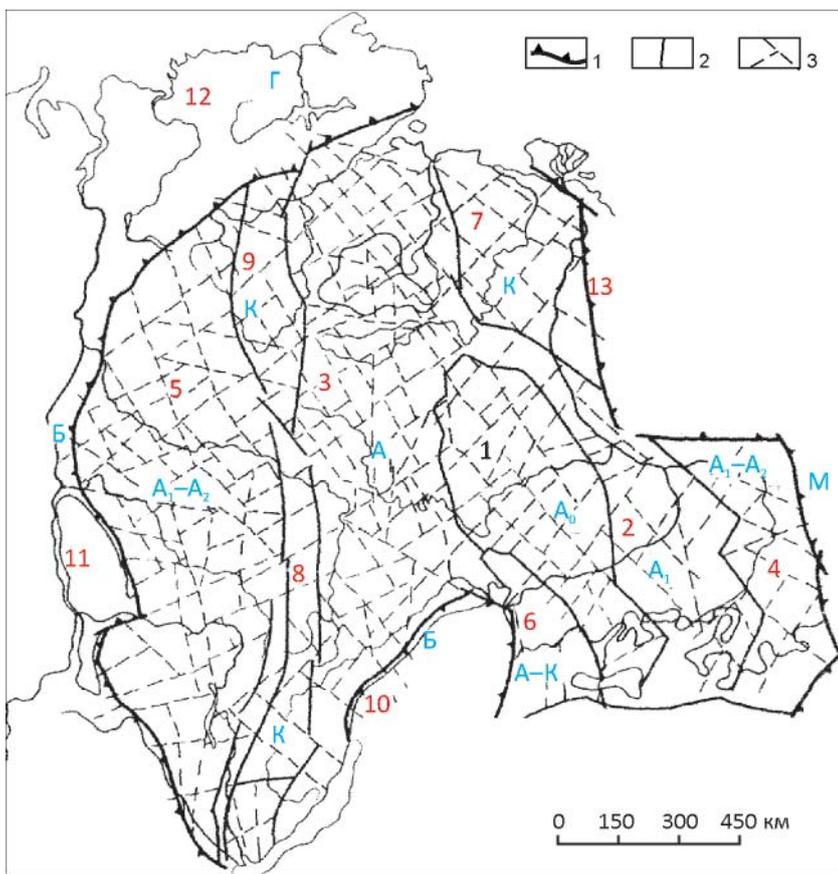


Рис. 1. Схема тектонического районирования фундамента Сибирской платформы (по М. П. Гришину, В. С. Суркову, 1981)

Границы: 1 – платформы, 2 – основных блоков, 3 – разрывные нарушения; складчатые системы кристаллического фундамента платформы: 1 – Алдано-Тимонская (Иенгрский массив, A_0), 2 – Тимптоно-Учурская, A_1 , 3 – Анабарская, A_1 , 4 – Батомгская, A_1-A_2 , 5 – Ангаро-Тунгусская, A_1-A_2 , 6 – Олекминская, $A-K$, 7 – Оленекская, K , 8 – Ангаро-Илимская, K , 9 – Котуйская, K ; складчатые системы обрамления платформы: 10 – Байкало-Патомская, B , 11 – Саяно-Енисейская, B , 12 – Таймырская, G , 13 – Верхоянская, M

В частности, вдоль восточной границы Анабарского блока раннеархейской складчатой зоны фундамента, вероятно существенно подвижной, на Сибирской платформе пригодными для выявления перспективных зон накопления жидких и газообразных углеводородов могут оказаться несколько участков. Начиная с юга в непосредственной близости от трасс ВСТО ниже карманообразного изгиба р. Лена на территории Березовской впадины уже открыты (Бысыхтахское) и могут быть еще обнаружены промышленные скопления углеводородов.

Севернее, вблизи соответствующей петли р. Вилюй уже выявлены Сыгдахское, Усть-Меикское, Шеинское месторождения. Перспективными на выявление новых углеводородных скоплений могут оказаться Восточно- и Западно-Сюльдюкарские, Сосновское, Огулахское, Бахчинское локальные поднятия. Дальше на север вдоль восточного ограничения раннеархейского Анабарского блока фундамента Сибирской платформы в сторону карманообразного участка русла р. Оленек над рассматриваемой зоной активизации можно ожидать наличие продуктивности Онхойдохского, Верхнемархинского, Андойского локальных поднятий, а также осложняющих Верхнетюнгский вал и Южно-Мерчимденский структурный мыс на юго-западном борту Суханской впадины.

Также следует проанализировать возможное влияние на формирование скопления нефти и газа тектонически активного в течение длительного времени трансрегионального Таймыро-Малазийского линеамента [15], ограничивающего с запада ранне-

архейский Анабарский блок фундамента. Его проявление в элементах современной гидросети было охарактеризовано ранее. Практически в зоне его влияния оказываются уже выявленные на юге Сибирской платформы месторождения: гигантское газовое Ковыктинское, первое из выявленных в Лено-Тунгусской провинции газонефтяное Марковское, расположенные севернее Аянское, Дулисьминское, Пилюдинское, Даниловское. Севернее вдоль этого ограничения Анабарского раннеархейского блока фундамента Сибирской платформы могут быть выявлены еще несколько месторождений.

Севернее наибольший интерес представляет Котуйский блок (см. рис. 1), в пределах которого возможны месторождения, обусловленные [12] улавливанием терригенными красноцветными отложениями основания нижнерифейской мукунской серии продуктов преобразования, в начале рифея обогащенных битумами нижнепротерозойских отложений [14]. Взаимоотношение кембрийских, вендских, рифейских и нижнепротерозойских отложений и архейских кристаллических пород хорошо видно на профиле 0344810, совмещенном с полем отраженной энергии и полем средней длины отражателей, который отходит на юго-восток от скв. Чрн-271 (рис. 3, а, б).

Нельзя также исключать возможность обнаружения месторождений нефти и газа вблизи Таймыро-Малазийского регионального линеамента на участке западной границы Анабарской раннеархейской системы рядом с местом резкой смены направ-

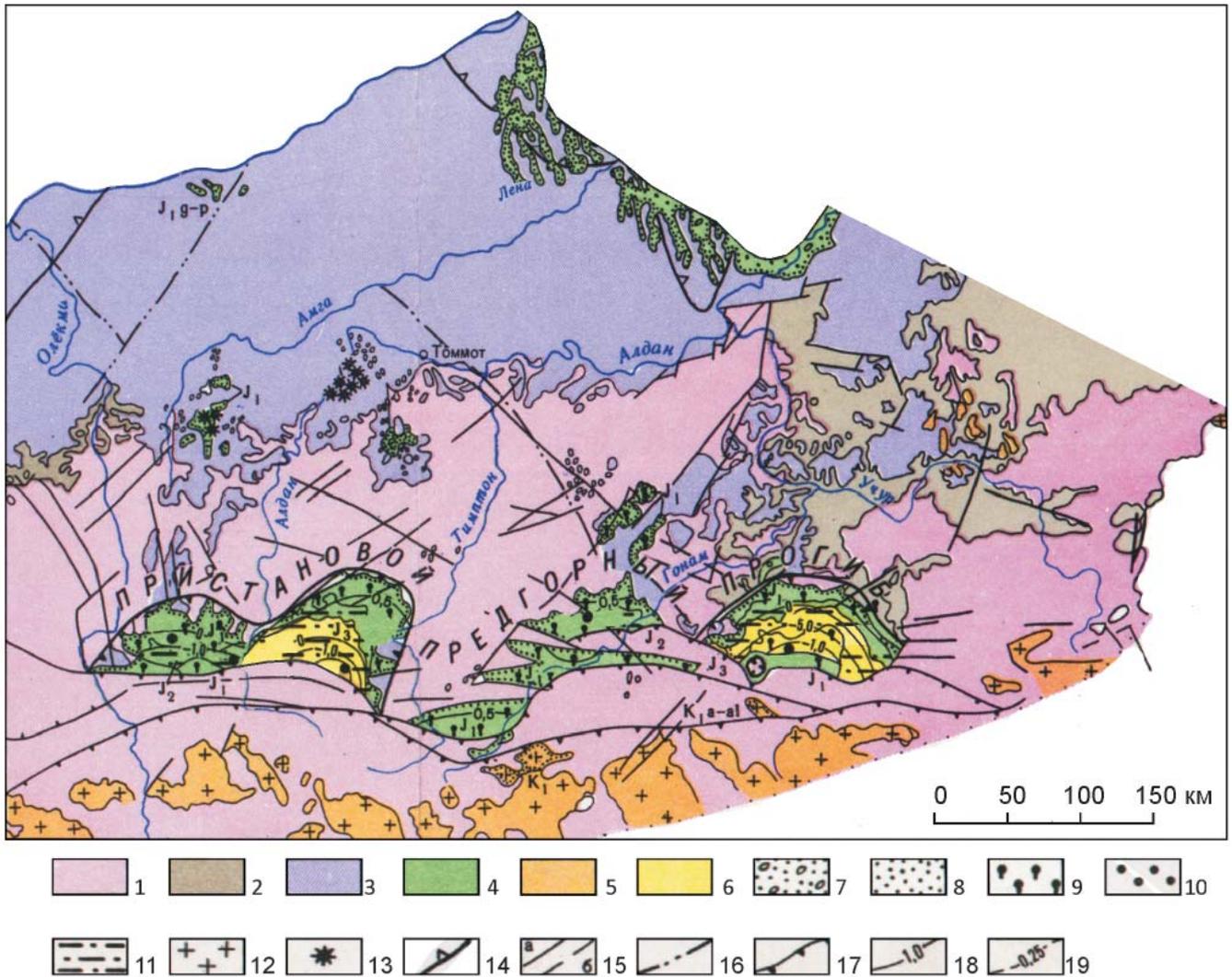


Рис. 2. Фрагмент тектонической карты юрско-мелового мегакомплекса Сибирской платформы

Мегакомплексы: 1 – дорифейский, 2 – рифейский, 3 – вендско-силурийский; юрско-меловой: 4 – миогеосинклинальный, 5 – протоорогенный, 6 – дейтероорогенный; терригенные породы: 7 – песчано-конгломератовые, 8 – алевролитопесчаниковые, 9 – аркозовые, 10 – песчаная каолинит-кварцевая, 11 – угленосная паралическая; вулканогенно-осадочные: 12 – граниты нерасчлененные, 13 – кимберлитовые, 14 – контуры пликативных структур I порядка; дизъюнктивные нарушения: 15 – достоверные (а), предполагаемые (б), 16 – выделяемые по комплексу геолого-геофизических данных, 17 – взбросы, надвиги и фронтальные части шарьяжей; изогипсы подошвы отложений: 18 – юрских, 19 – верхнемеловых

ления течения р. Ниж. Тунгуска с субмеридионального на субширотное неподалеку от Наканновского выступа и Усть-Илимпейского структурного мыса. Кроме того, вероятно перспективен, судя по «Тектонической карте нефтегазоносных провинций Сибирской платформы» (СНИИГГиМС, 2005), Енисей-Хатангский региональный прогиб.

Западная часть Сибирской платформы к северу от устья р. Подкаменная Тунгуска прослеживается далее на левобережье р. Енисей до Игарского выступа байкальской складчатости ее обрамления. Поскольку она была активна в рифейско-фанерозойское время, можно рассчитывать на обнаружение нефтегазоперспективных объектов на правобережье р. Енисей между Ермаковской петлей и устьем Подкаменной Тунгуски. Возникающие в этой зоне скопления углеводородов могут контролироваться надвиговыми дислокациями рифейских

отложений восточных румбов, как в юрско-меловых отложениях левобережья р. Енисей, что позволяет рассчитывать на подток углеводородов из богатейшего юрско-мелового Западно-Сибирского бассейна [13].

Сопоставление тектонических особенностей регионов широкого развития, выдержанных по составу вулканогенных (базальтовых) комплексов на древних платформах, показывает, что практически все они приурочены к крупным отрицательным структурам (синеклизам) платформенного чехла. При этом синклинальное строение в целом характерно не только для самих базальтовых комплексов, но и для подстилающих осадочных пород (рис. 4). В рельефе эти регионы выражены обычно обширными поднятиями. Обращенный характер рельефа базальтовых плато проявляется как в региональном, так и локальном планах, что отмечалось уже давно.

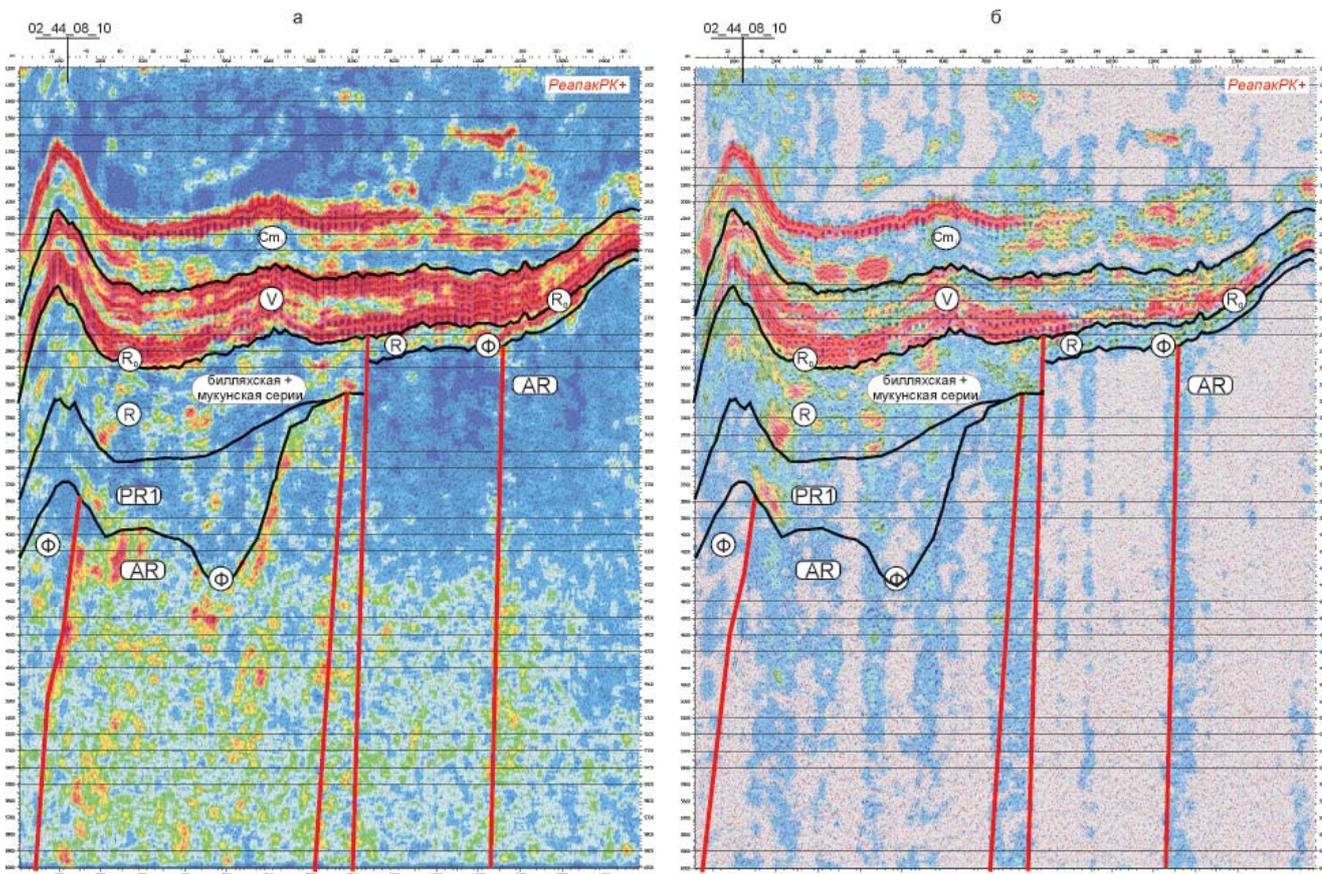


Рис. 3. Разрез ЭКО по профилю 03440810, совмещенный с полем отраженной энергии (а) и полем средней длины отражателей (б)

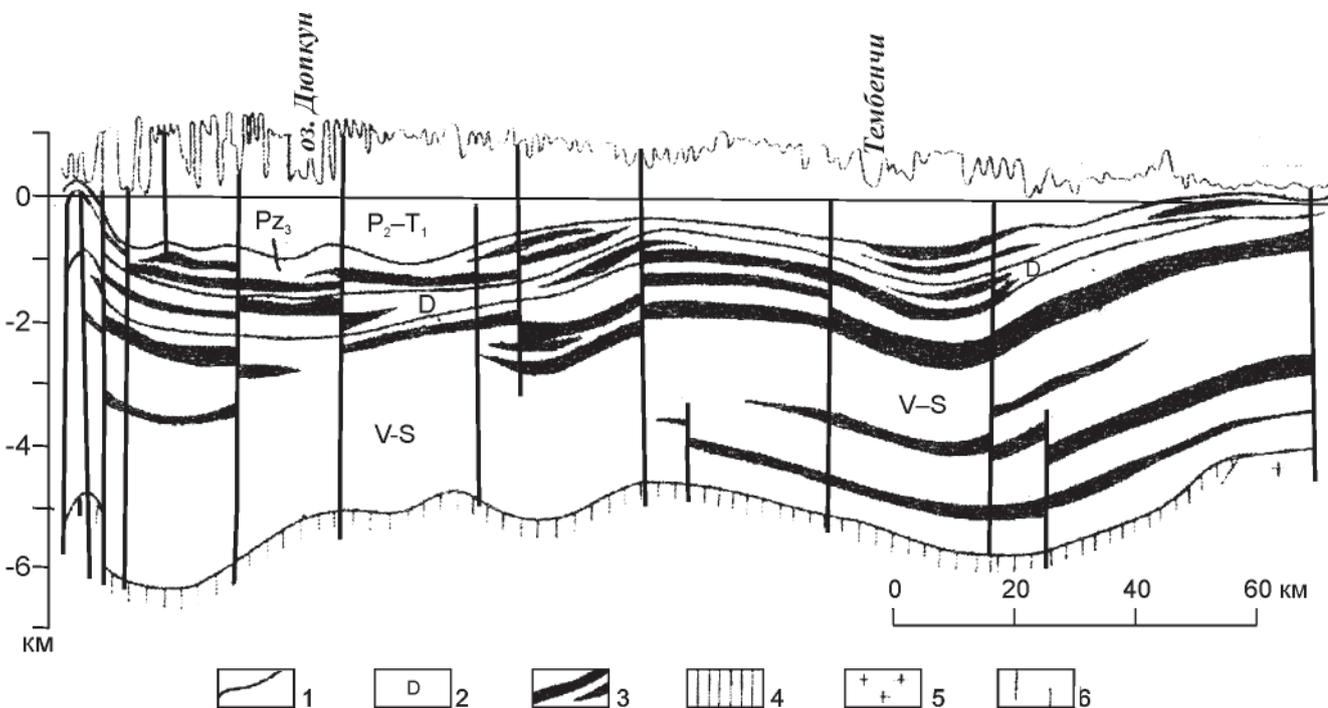


Рис. 4. Схематический профиль вдоль осевой зоны Тунгусской синеклизы
 1 – границы структурных ярусов платформенного чехла; 2 – возрастные индексы структурных ярусов; 3 – трапповые интрузии; 4 – рифейские породы; 5 – породы кристаллического фундамента; 6 – основные разломы

В частности, в Норильском районе на северо-западе базальтового плато Сибирской платформы местные геологи уже в середине 1950-х гг. отмечали соот-

ветствие водоразделов отрицательным структурам рельефообразующих и нижележащих пород, а долин – положительным.

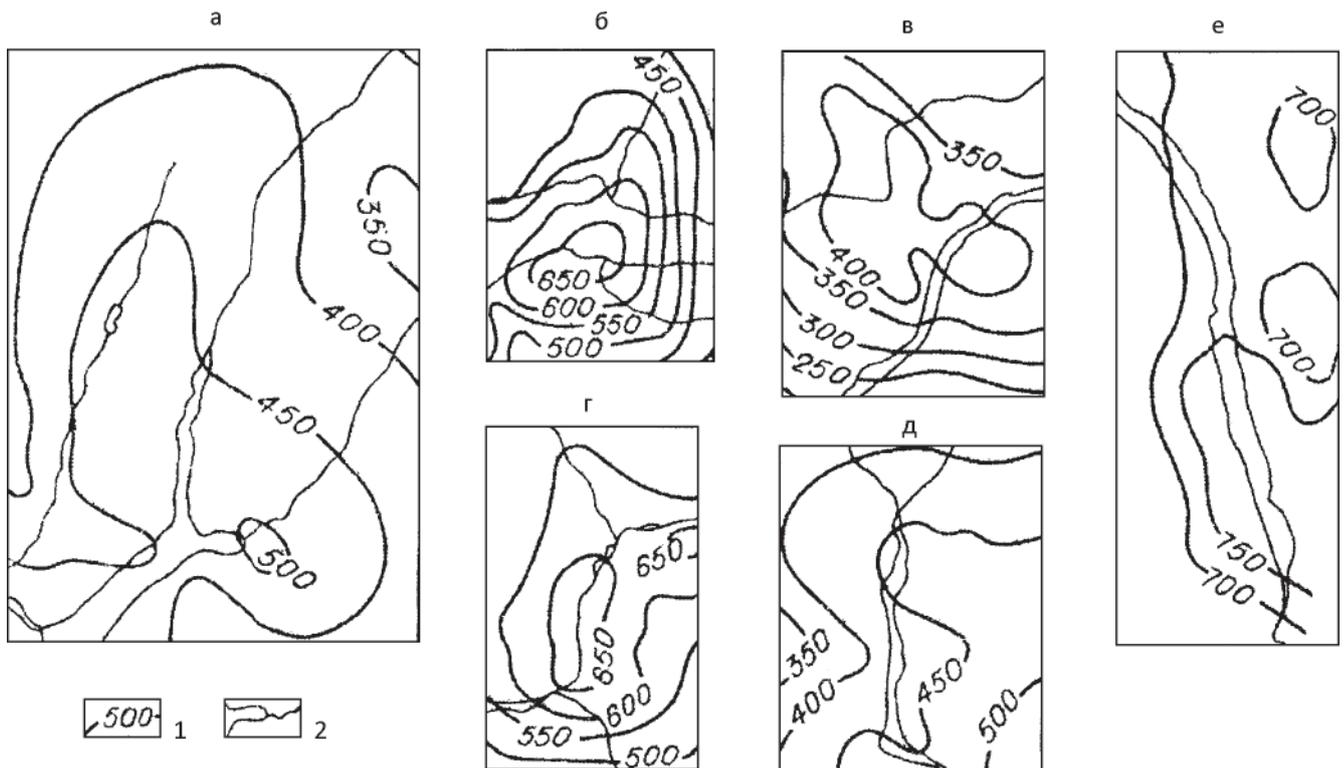


Рис. 5. Примеры соотношения дислокаций и рельефа в пределах базальтового плато Путорана (север Тунгусской синеклизы)

1 – изогипсы маркирующих базальтовых покровов; 2 – основные водотоки и озера; пояснения см. в тексте

Позднее было установлено, что рельеф базальтового плато можно считать обращенным лишь в самом общем виде. Хотя положительные структуры чаще приурочены к крупным долинам рек и озер, пересекающим базальтовое плато, их морфология находится в сложных соотношениях с формами рельефа. Так, например, Агатский структурный мыс по подошве Якталейского маркирующего покрова базальтов охватывает долины северной части оз. Ниж. Агата, крупных притоков Ирбукон и Тымеракан, впадающих в него, а также притока оз. Северное и водоразделов между ними (рис. 5, а). Более контрастное Могадынское локальное поднятие по подошве Надаянского маркирующего покрова базальтов (см. рис. 5, б) приурочено к расширению и изгибу долины оз. Хантайское у впадения в него с севера крупной р. Кутарамакан и с юга – среднего притока р. Могады. При этом юго-западная часть свода поднятия пространственно приурочена к возвышенному базальтовому плато Логанча.

Апикальная часть Наледного поднятия по кровле того же Надаянского покрова (см. рис. 5, в) расположена на водоразделе оз. Дюпкун (Курейское) и р. Наледная на участке их изгиба и сближения с образованием сквозной долины, у которой намечается его сужение. Учитывая, что северо-западная и юго-восточная периклинали поднятия также тяготеют к возвышенному плато, можно считать его в основном не совпадающим с долинами. В отличие от него Якталейское поднятие по подошве Надаянского покрова (см. рис. 5, г) почти полностью контролируется долинами р. Курейка и впадающе-

го в нее с севера крупного притока Яктали. Долины озер Верх. Тембенчи (см. рис. 5, д) и Бельдунчана (см. рис. 5, е) лишь частично охватывают структурные мысы по подошве Якталейского покрова базальтов.

Приведенные примеры характеризуют основные типы соотношений структурного плана базальтовых покровов и современного рельефа в пределах плато северной части Тунгусской синеклизы на северо-западе Сибирской платформы. Судя по публикациям, на базальтовых плато Южно-Американской и Африкано-Аравийской платформ наблюдаются аналогичные соотношения их современного структурного плана и рельефа. В целом для базальтовых плато древних платформ в большинстве случаев характерен рельеф, обращенный относительно их регионального структурного плана. Однако конкретное соотношение последнего с рельефом, так же как и для локальных структур (см. рис. 5), является достаточно сложным. Это хорошо видно на примере северной части Тунгусской синеклизы, где максимальные отметки вершинной поверхности базальтового плато фиксируются не только в ее осевой зоне, но и на северо-восточном борту, что, скорее всего, обусловлено тектоническим влиянием западного выступа Анабарской антеклизы.

Для плато, сложенных многочисленными в различной степени устойчивыми к выветриванию и обычно субгоризонтально залегающими покровами базальтов, характерны террасированные склоны и относительно плоские столовые вершины. Последние нередко принимают за поверхности выравнива-



ния, хотя они могут быть сложены на значительной площади одним и тем же базальтовым покровом. Высота вершинных поверхностей, естественно, не остается постоянной на всей территории базальтового плато. Она ступенеобразно понижается от его центральной части к периферии, что вполне может быть воспринято как система разновозрастных поверхностей выравнивания (соответственно от более древних к более молодым). Подобный подход приводит к выводам об увеличении амплитуды новейших тектонических воздыманий к центру базальтового плато [3]. В действительности, как уже было показано [10], суммарные амплитуды тектонических воздыманий после прекращения траппового вулканизма вплоть до настоящего времени возрастают в прямо противоположном направлении.

Это противоречие не случайно и обусловлено не совсем верной трактовкой разноуровневых вершинных поверхностей базальтового плато. По существу, их плоский рельеф предопределен структурными условиями залегания устойчивых к выветриванию базальтовых покровов. Вообще, структурная террацированность чрезвычайно характерна для базальтовых плато. Выделение в таких условиях истинных поверхностей выравнивания представляет собой необычайно сложную задачу, требующую выполнения значительных объемов полевых работ. Г. И. Худяковым в 1976 г. высказано даже мнение о неправомерности выделения поверхностей выравнивания на базальтовых плато, например, Тунгусской синеклизы. Правда, в основе такого мнения лежит ошибочное представление об образовании этого плато непосредственно во время излияния базальтовых лав.

Подобная точка зрения не согласуется с имеющимся фактическим материалом о динамической обстановке периода активного проявления траппового вулканизма на территории Тунгусской синеклизы. Среди геологических фактов, помогающих реконструировать указанную обстановку, заслуживают упоминания следующие.

1. Под многими из маркирующих базальтовых покровов относительно равномерно (через 150–180 м по разрезу) распространенных в вулканогенной толще на площадях более 100–200 тыс. км² прослеживаются достаточно выдержанные по мощности горизонты туфогенно-осадочных пород с параллельной субгоризонтальной или, реже, линзовидной слоистостью, формирование которых на возвышенных плато крайне маловероятно.

2. На контактах покровов не фиксируется практически никаких признаков расчлененного рельефа, что должно было иметь место хотя бы на отдельных уровнях при излиянии лав на поверхность плато.

3. В толще базальтов встречаются покровы с шаровой отдельностью, что свидетельствует об излиянии лав в водную среду, возможно, огромный мелководный бассейн.

Дополнительную информацию для расшифровки динамической обстановки того периода дают

особенности соотношения трапповых интрузий с вмещающими породами. Прежде всего важно подчеркнуть, что секущие тела траппов (дайки) независимо от мощности практически не сопровождаются смятием вмещающих пород. Больше того, довольно широко распространены образования типа «дайка в дайке» [2], столь характерные для зон растяжения в пределах срединно-океанических хребтов.

Совокупность отмеченных геологических особенностей траппового комплекса Тунгусской синеклизы, на наш взгляд, убедительно свидетельствует о формировании базальтовых покровов на гипсометрическом уровне, близком к базису эрозии, в условиях общего растяжения и постепенного погружения ее территории. И только последующие тектонические движения обусловили появление в рельефе огромного по площади возвышенного плато.

Полученные для базальтовых покровов Тунгусской синеклизы выводы убедительно подтверждаются и материалами по другим платформенным регионам с интенсивным проявлением основного вулканизма. В первую очередь это относится к деканским базальтам Индийской платформы, между покровами которых, по М. С. Кришнану (1954), широко распространены горизонты осадочных пород с морской фауной дат-палеоценового возраста. Большая часть территории распространения деканских базальтов в настоящее время представляет собой возвышенное плато, хотя на западе по разлому они погружаются под более молодые осадки Камбейского залива Индийского океана. Частичное погружение пермско-триасового базальтового комплекса под более молодые юрско-меловые осадки наблюдается и на Сибирской платформе в пределах Енисей-Хатангского регионального прогиба, примыкающего с севера к Тунгусской синеклизе.

Оба отмеченных погружения в тектоническом отношении приурочены к зонам посттрапповой активизации и характеризуются сокращением мощности земной коры и обратным соотношением рельефа поверхностей фундамента (прогиб) и Мохоровичича (поднятие). Вне этих зон базальтовые комплексы испытывают восходящие движения, что обуславливает появление в рельефе возвышенных плато.

Тунгусская синеклиза является крупнейшим возможно нефтегазоносным бассейном Сибири. На северо-западном борту этого бассейна намечается целый ряд локальных поднятий, которые могут оказаться весьма благоприятными ловушками нефти и газа. Среди них по общему структурному положению, размерам, амплитуде, наличию источников высокоминерализованных вод (до 117 г/л) и другим признакам особый интерес для нефтепоисковых работ представляют поднятия западной части Хантайского озера. Геологическое строение этой территории изучали А. И. Корешков (1939), Е. Э. Цуладзе (1940), И. А. Коровяков (1941), Д. Г. Успенский (1944), В. Ф. Дерпгольц (1944), П. С. Фомин и Н. Д. Якименко (1952), Ф. А. Старшинов и С. П. Степанов (1954),

М. Н. Благовещенская (1956), Я. И. Польшин (1960), Н. И. Нагайцева и А. И. Атласов (1962, 1964) и др. Большинство названных исследователей указывали на существование в районе оз. Хантайское крупной антиклинальной структуры, погружающейся в восточном направлении. Эта точка зрения отражена на структурно-тектонической схеме, составленной Н. Н. Нагайцевой и А. И. Атласовым на основе геологической съемки.

При проведении маршрутных исследований в 1963 г. мне удалось выяснить, что в западной части Хантайского озера наблюдается не одна антиклинальная структура, а две, разделенные седловиной. Учитывая большую нефтегазоперспективность этого района для поисков нефти и газа, в 1965 г. сотрудники СНИИГГиМС провели здесь структурную съемку с барометрической привязкой опорных горизонтов [5]. В результате была построена структурная карта по двум основным опорным горизонтам триасовых туфогенно-эффузивных образований (нижний горизонт – кровля туклонской свиты, верхний – кровля надеждинской свиты). Мощность пачки пород, разделяющей указанные горизонты, составляет 270–300 м. На структурной карте (рис. 6) довольно четко видны два поднятия, частично перекрытые водами Хантайского озера.

Одно из них названо нами Хантайским структурным мысом. Ось этого поднятия имеет субширотную ориентировку, шарнир его к западу воздымается. В этом же направлении поднятие по-

степенно расширяется и соединяется с восточным крылом крупной субмеридиональной планантиклинали, которая определяет современную северо-западную границу Тунгусской синеклизы. На участке сочленения Хантайского структурного мыса и указанной планантиклинали проходит субмеридиональная зона разломов глубокого заложения, которая хорошо фиксируется по комплексу геолого-геофизических данных. Свод структурного носа расположен в юго-западном углу озера, частично охватывая окружающий пологий берег. В своде на поверхность выходят породы верхнего и, видимо, среднего палеозоя. Крылья сложены туфогенно-эффузивными образованиями ($P_2(?) - T_1$). Углы падения пород на крыльях составляют 5–10° и до 25–30° в зонах разрывных нарушений. Последние значительно распространены в пределах рассматриваемой антиклинальной структуры. Среди них преобладают нарушения субширотной ориентировки, амплитуда которых достигает 100–150 м. Поверхности сместителей обычно близки к вертикальным. Преобладают разрывы типа сбросов (взбросов). Весьма интенсивно нарушена восточная периклиральная структура в районе выхода на поверхность высокоминерализованных вод. В связи с этим еще в 1941 г. И. А. Коровяков высказал предположение о проявлении на указанном участке соляной тектоники.

Восточнее Хантайского структурного мыса расположено Среднехантайское брахиантиклинальное поднятие, несколько вытянутое в северо-северо-

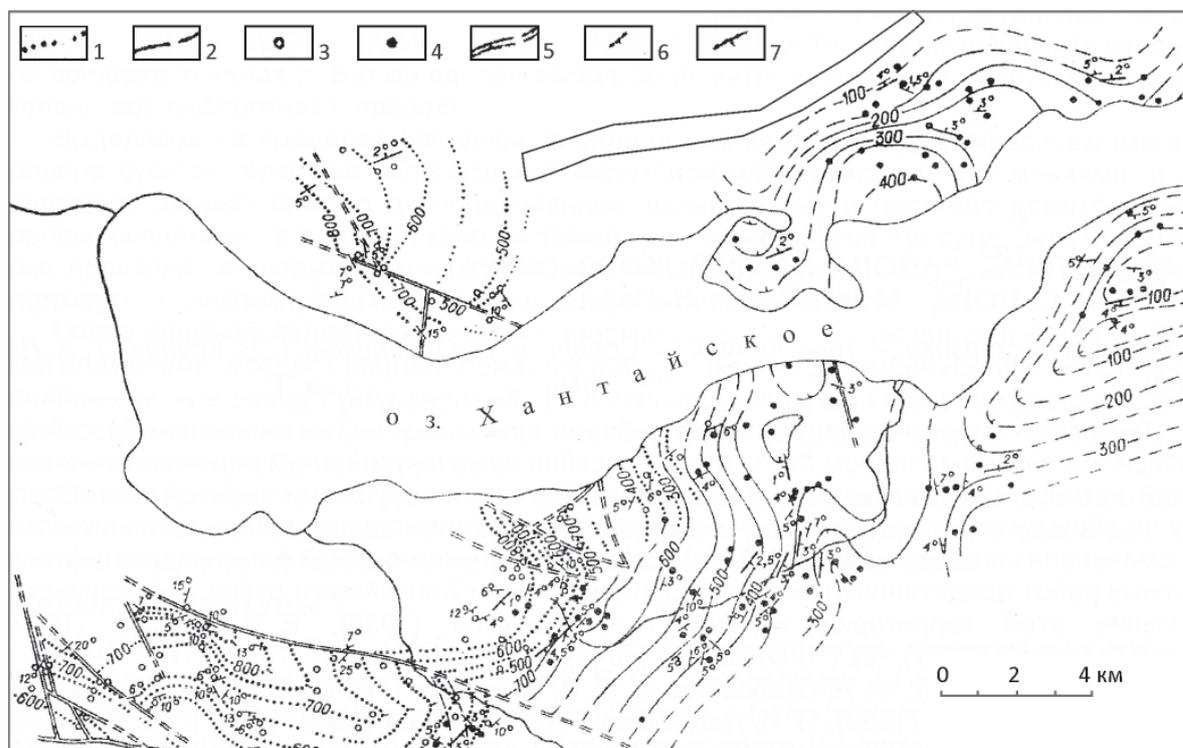


Рис. 6. Структурная карта западной части Хантайского озера (сост.: В. С. Старосельцев, Б. В. Олейников, Г. В. Козлов, А. А. Растегин)

Изогипсы кровли свит: 1 – туклонской, 2 – надеждинской; структурные точки кровли свиты: 3 – туклонской, 4 – надеждинской; 5 – разрывные нарушения; 6 – элементы залегания пород в естественных обнажениях; 7 – элементы залегания пород, определенные по трем точкам



восточном направлении и отделенное от структурного носа субмеридиональной седловиной. В современном эрозионном срезе поднятие полностью сложено туфогенно-эффузивными породами триаса. Углы падения пород на крыльях достигают 3–4°. Разрывные нарушения в пределах поднятия наблюдаются очень редко и имеют незначительную амплитуду. Плоскости сместителей субвертикальны.

Для нефтепоисковых работ весьма интересен вопрос о времени и истории формирования той или иной структурной ловушки. Восстановить нижне- и среднепалеозойский структурный план рассматриваемого участка не представляется возможным из-за отсутствия достоверных данных об особенностях строения разреза соответствующих отложений. По аналогии со смежными с запада участками можно предположить, что здесь в течение всего нижнего и среднего палеозоя существовала область устойчивой седиментации терригенно-карбонатных осадков, суммарная мощность которых, видимо, составляет 4–5 км. Изучение литологии и особенностей строения верхнепалеозойских отложений позволяет предположить отсутствие в это время поднятий значительной амплитуды. Особенно интересны данные по терригенным породам, подстилающим туфогенно-эффузивные образования триаса. Комплексы органических остатков, а также проведенные нами литологические исследования свидетельствуют о том, что туфогенно-эффузивными породами повсеместно перекрыты практически одновозрастные (верхнепермские) отложения. При этом не наблюдается следов значительных размывов и сколько-нибудь значительных угловых несогласий между верхнепалеозойскими терригенными породами и перекрывающими их образованиями. Строение туфогенно-эффузивного комплекса также не позволяет предполагать существование локальных тектонических поднятий на описываемой территории в период его формирования. Следовательно, антиклинальные структуры западной части оз. Хантайское озера были созданы после образования триасовой трапповой формации. Однако отсутствие послетрапповых (кроме четвертичных) отложений не позволяет восстановить историю развития этих структур и конкретизировать их возраст.

Хантайский структурный нос и Среднехантайское поднятие приурочены к наиболее приподнятой бортовой зоне Тунгусской синеклизы и находятся в весьма благоприятных условиях для локализации нефти и газа при латеральной миграции углеводородов. При этом следует учитывать, что, несмотря на слияние Хантайского структурного носа с восточным крылом крупной планантиклинали, миграция углеводородов в сторону последней, видимо, исключена, так как разделяющая эти поднятия зона разломов глубокого заложения насыщена секущими телами траппов и, следовательно, может являться надежным экраном на пути движения нефти и газа. Наличие разрывных нарушений в пределах Хантай-

ского структурного носа должно способствовать вертикальной миграции углеводородов, благодаря чему на интересующей нас территории могли возникнуть многопластовые залежи.

Особенности строения, параметры и структурное положение поднятий района Хантайского озера, а также обилие битумопроявлений в северо-западной части Тунгусской синеклизы позволяют считать эти структуры первоочередными объектами для нефтепоисковых работ в Норильском районе.

Большинство богатейших скоплений нефти так или иначе связано с тектонически активными обширными прогибаниями земной коры. Расположены такие скопления как в осевых зонах последних, так и на их бортах или даже на смежных поднятиях. Примерами крупных скоплений нефти на бортах тектонически активных прогибов являются Ромашкино (западный борт Предуральского краевого прогиба в России) и Хавар (юго-западный борт бассейна Персидского залива за рубежом), в центральной зоне таких прогибов – Самотлор в центральной зоне Западно-Сибирской мегасинеклизы (Россия), Ахваз (Персидский залив) и Хасси-Мессауд (Сахаро-Восточный Средиземноморский бассейн).

Являясь типичным флюидом, нефть обладает большой подвижностью, что обуславливает возможность формирования ее скоплений на значительном удалении от мест генерации. В ходе геологической истории при различных тектонических перестройках происходит существенное перемещение нефти и, соответственно, пространственное перераспределение ее скоплений.

Образование огромной (около 1,2 млн км²) Тунгусской области прогибания на северо-западе Сибирской платформы происходило в две стадии, тектонически существенно различающиеся. Первая охватывала временной диапазон от среднего карбона до поздней перми, в течение которого накопилась терригенная угленосная формация суммарной толщиной до 400–500 м, а на западе – до 800–1000 м. И хотя средняя скорость компенсированного осадками прогибания была не очень высокой (5–10 м/млн лет), эта стадия характеризовалась существенной, особенно на западном борту, активностью дифференцированных структуроформирующих движений. Амплитуды кулисообразно расположенных на западном борту синеклизы валов, судя по суммарной толщине размывов в их осевых зонах отложений, в это время достигали 1,5–2,0 км, а углы наклона нижнепалеозойских пород на крыльях – 2–3°.

Вторая стадия прогибания Тунгусской синеклизы резко отличалась от первой. В формационном отношении в это время накопился комплекс туфогенно-эффузивных пород основного состава суммарной толщиной от 0,5–1,0 км на ее юге до 3,0–3,5 км – на севере. Скорость его накопления за 1 млн лет превышала указанные величины, так как по геологическим и палеомагнитным данным период их накопления не превышал 800 тыс. лет. Режим



тектонических движений в это время характеризовался крайне слабой дифференцированностью и господством всестороннего растяжения, включая подземное компенсирование (по Ю. А. Косыгину) прогибания пластовыми интрузиями долеритов. В результате осадочные породы палеозоя и рифея, подстилающие туфогенно-эффузивный комплекс, испытали относительно кратковременное, но значительное по амплитуде погружение. Это не могло повлиять на степень катагенеза органического вещества и преобразование уже сформированных скоплений углеводородов.

В дальнейшем вплоть до настоящего времени территория Тунгусской синеклизы испытывала дифференцированный относительный подъем с формированием возвышенного (до 1,0–1,7 км) расчлененного плато с преобладающим обращенным рельефом. Располагавшиеся на его северо-западном и северо-восточном склонах самые глубоко врезанные долины сформировались над наиболее приподнятыми (до 2,5–2,8 км) и, соответственно, нарушенными разрывными зонами. В тектоническом отношении последние являлись вало- или сводообразными поднятиями. Смена преимущественного (относительно кратковременного) прогибания Тунгусской синеклизы в период накопления туфогенно-эффузивного комплекса на общее длительное дифференцированное поднятие произошла практически сразу после завершения интенсивных вулканических процессов. Об этом, в частности, свидетельствует появление в Фадьюкудинском грабене на Таймыре [7] конгломератов с обильной галькой пород трапповой формации в основании отложений индского яруса раннего триаса. Не противоречит и появление на северных склонах базальтового плато Тунгусской синеклизы терригенных нижнемеловых отложений, вложенных в современные расчленяющие его речные долины. Причиной столь быстрой инверсии тектонических движений могло быть изостатическое всплывание [10] относительно легких пород основания земной коры, погружившихся в расположенные в мантии и освободившиеся от трапповой магмы во время ее поступления к поверхности огромной камеры. Аналогичная инверсия тектонических движений происходила практически во всех областях интенсивного траппового магматизма: плато Декан на Индийской платформе, Карру на юге Африки, Парана в Южной Америке, Колумбия в Северной.

Ранее было показано [10], что областям интенсивного проявления магматизма выдержанного основного состава (бассейны Тунгусский, Парана, Мараньон, Карру) свойственно длительное (100–300 млн лет) предшествующее компенсированное осадками прогибание, в 2–3 раза и более превосходящее по амплитуде прогибание периода магматизма. Для оценки нефтегазового потенциала очень важно оценить пространственное распределение, конфигурацию и тектоническую активность прогибаний разных этапов, предшествующих интенсивному

магматизму. На территории Тунгусской синеклизы по структурно-вещественным характеристикам обособляются рифейский, венд-среднепалеозойский, позднепалеозойский и раннетриасовый этапы компенсированного прогибания и постраниасовый этап дифференцированного подъема, сопровождаемого эрозией. Все эти этапы могли оказывать существенное влияние на образование, миграцию и формирование скоплений углеводородов, включая их последующие изменения вплоть до разрушения.

Так, рифейские глубокие прогибы формировались на западной и северо-восточной окраинах Тунгусской синеклизы, соединяясь между собой на ее юге и юго-востоке. Вдоль ее западной окраины формировался Приенисейский (перикратонный для Сибирской платформы) прогиб с суммарной толщиной рифейских осадков до 3,0–3,5 км. За пределами платформы суммарная толщина рифейского комплекса увеличилась до 10–12 км и более. На территории бассейна нижнего течения р. Ангара, где граница платформы образовывала входящий (по Н. С. Шатскому) угол, глубокий рифейский прогиб проникал на территорию юга Тунгусской синеклизы сначала в восточно-северо-восточном направлении, а затем вблизи пос. Ванавара поворачивал на север и продолжался, судя по результатам опорных профилей сейсморазведки, до широтного течения р. Ниж. Тунгуска и предположительно, до соединения с субмеридиональным Котуйским прогибом [11] на северо-восточном борту Тунгусской синеклизы. В целом этот глубокий (до 3–5 км и более) прогиб, который может быть назван Ангаро-Котуйским, является внутриплатформенным.

Охарактеризованная региональная дифференциация глубин позднепалеозойского прогибания территории Тунгусской синеклизы в значительной мере осложнялась относительным крупноамплитудным ростом валообразных поднятий на северо-западном (Рыбнинский и Пашкинский валы) и северо-восточном (Чангодинский вал) бортах Тунгусской синеклизы (рис. 7). Их амплитуды достигали 1,5–2,0 и 0,4–0,6 км соответственно.

Описанная дифференциация тектонических движений могла принципиально изменить господствующее направление миграции углеводородов в северной части Тунгусской синеклизы, особенно на ее северо-западном борту. Появление в пределах последнего контрастных поднятий, скорее всего, обусловило появление кулисообразно расположенных вдоль северо-западного борта синеклизы новых зон, благоприятных для накопления углеводородов. При этом предшествующая росту палеоподнятий миграция углеводородов на юго-восток в сторону центральной области Курейской синеклизы могла в значительной мере сменить направление в сторону вновь возникших поднятий.

Относительно кратковременное (менее 1 млн лет) глубокое (до 3,0–3,5 км) погружение северо-западных и северо-восточных районов Тунгусской си-

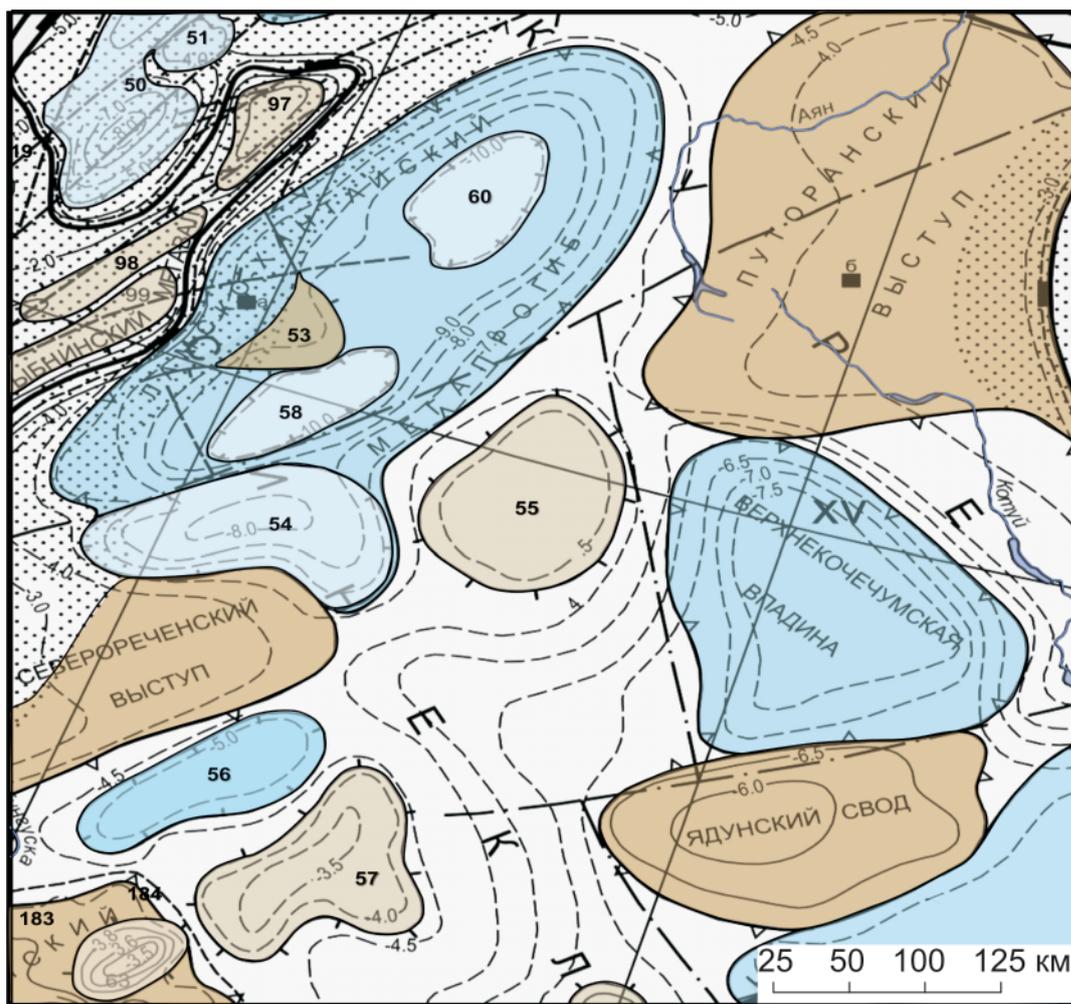


Рис. 7. Схема тектонического районирования севера Курейской синеклизы

Границы структур: 1 – надпорядковых, 2 – первого порядка, 3 – второго порядка (50 – Норильско-Вологодчанский прогиб, 51 – Южно-Пясинское куполовидное поднятие, 53 – Хантайский структурный мыс, 54 – Курейская котловина, 55 – Анамское куполовидное поднятие, 56 – Нижнетунгусский прогиб, 57 – Бильчанское куполовидное поднятие, 58 – Кулюмбинская котловина, 60 – Верхнекетская котловина, 63 – Нимдинский вал); 4 – изогипсы подошвы венд-кембрийских отложений; 5 – разрывные нарушения по геологическим (а) и геолого-геофизическим (б) данным; 6 – рифейские прогибы; 7 – первоочередные нефтегазоперспективные объекты: Хантайский (а) и Верхнехугдякитский (б)

неклизы в раннем триасе при проявлении интенсивного траппового магматизма могло увеличить стратиграфический диапазон генерации углеводородов и активизировать процессы их миграции, особенно вертикальной. Увеличение стратиграфического диапазона генерации обусловлено не только кратковременным повышением регионального геотермического градиента, но и погружением в область нефтяного окна ордовикско-силурийских и более молодых палеозойских горизонтов. Активизация процессов миграции углеводородов является, с одной стороны, следствием палеосейсмичности территории интенсивного проявления траппового магматизма, с другой – практически совпадением механизма переточка траппового расплава и углеводородных флюидов в условиях всестороннего растяжения.

Очень важный для миграции и локализации углеводородов этап начался сразу же после завершения на территории Тунгусской синеклизы интенсивного траппового магматизма. Практически вся она испытала дифференцированный подъем, в результате чего на северо-западной ее окраине сформировалось контрастное (амплитудой более 2,5 км) Приенисейское краевое поднятие, а на северо-востоке – региональный относительно крутой подъем в сторону Анабарской антеклизы. Естественно, что длительное (свыше 180 млн лет) существование указанных крупных поднятий не могло не оказывать определяющего влияния на концентрацию углеводородов. При этом нужно учитывать существование в подстилающих триасовый туфогенно-эффузивный комплекс осадочных породах палеозоя (а частично

и рифея) сети пластовых (силлы) и секущих (дайки) трапповых интрузий.

Как показали целенаправленные исследования [8], интрузии траппов при остывании образуют приконтактные зоны повышенной трещиноватости и проницаемости. Центральные же зоны интрузий, напротив, обладая меньшей трещиноватостью, могут формировать надежные экраны для перемещения углеводородов. При наличии даек, секущих всю толщу осадочных пород до дневной поверхности, велика вероятность интенсивных вертикальных перетоков нефти и газа вплоть до полного разрушения их скоплений. В ситуациях, когда дайки являются подводными каналами для силлов, на моноклиналиях могут образовываться ловушки и целые зоны накопления углеводородов [8].

С учетом изложенных особенностей строения территории интенсивного проявления траппового магматизма перспективы нефтегазоносности Тунгусской синеклизы наиболее высокие в северной, наиболее погруженной ее части. Именно здесь в палеозое было наиболее глубокое и практически непрерывное компенсированное осадками прогибание. В связи со значительной долей эффузивных (базальты) фаций трапповой формации объем внедрений трапповой магмы в подстилающие палеозойские породы не превышает 3,0–8,0% общей их толщины, что существенно снижает ее температурное воздействие на органическое вещество. Дополнительные объемы углеводородов могли поступать в палеозойские резервуары из их возрастных аналогов, глубоко погруженных в юрско-меловое время на территории смежного с севера Енисей-Хатангского регионального прогиба. Нельзя также не учитывать, что базальтовый комплекс севера Тунгусской синеклизы может являться надежным региональным экраном для флюидов, мигрирующих во всей подстилающей палеозойской толще.

При такой сложной истории тектонического развития севера Тунгусской синеклизы необходим тщательный анализ изменений во времени направлений миграции углеводородов и условий для формирования зон их накопления.

Судя по конфигурации Приенисейского и Ангаро-Котуйского рифейских прогибов, миграция образовавшихся в них в позднем рифее углеводородов, скорее всего, была направлена к их бортовым зонам. Отсутствие в разрезе рифейских отложений надежных флюидоупоров и интенсивная их нарушенность разрывными нарушениями не позволяет надеяться на формирование здесь значительных скоплений углеводородов. На следующем вендсилурийском этапе геологического развития территорий северных районов Тунгусской синеклизы генерации углеводородов, судя по амплитуде компенсированного осадками их прогибания, могла происходить в верхнерифейских, вендских и нижнекембрийских отложениях. К сожалению, объем горизонтов с высоким содержанием органического

вещества в этих отложениях невелик, а такие надежные флюидоупоры, как каменные соли здесь отсутствуют. Поэтому миграция образовавшихся порций углеводородов из наиболее погруженных северо-западных районов Игаро-Хетского перикратонного опускания преимущественно в юго-восточном направлении, где еще не существовало обособленных крупных поднятий, вряд ли могла привести к формированию значительных скоплений нефти и газа.

Положение несколько изменяется в девонско-раннекаменноугольное время, когда на большей части Игаро-Хетского перикратонного опускания откладывались каменные соли, а обогащенные органическим веществом нижнесилурийские отложения были погружены глубже 1,0–1,5 км. И хотя в это время еще не формировались обособленные крупные поднятия как потенциальные зоны нефтенакпления, миграция углеводородов из наиболее погруженных северо-западных районов продолжавшего формироваться Игаро-Хетского перикратонного опускания на юго-восток могла обусловить их скопление в благоприятных литолого-стратиграфических условиях. Не случайно на первой же и пока единственной, где пробурены первые колонковые скважины, Ледянской площади [4] у юго-восточной границы Игаро-Хетского перикратонного опускания установлены массовые проявления капельно-жидкой нефти в трещинно-каверновых органогенных известняках венлокского яруса нижнего силура, кварцевых песчаниках нижнего – среднего ордовика и подсолевых трещинно-каверновых известняках девона.

Продолжавшаяся в позднем палеозое в обогащенных органическим веществом отложениях нижнего палеозоя генерация углеводородов протекала уже в существенно изменившихся тектонических условиях. На северо-западе и северо-востоке синеклизы появились контрастные (особенно в первом случае) валообразные поднятия [10], расположенные на путях миграции углеводородов из смежных глубоких прогибов. При этом расположенные на северо-западе поднятия обусловили изменение направления миграции с северо-восточного на северо-западное. На северо-востоке мог появиться дополнительный барьер на путях преимущественно юго-восточного направления миграции. Возникает вопрос, могли ли в пределах позднепалеозойских поднятий формироваться крупнообъемные скопления нефти и газа. К сожалению, в большинстве из них (Рыбнинское и Пашкинское на северо-западе, Чангодинское на северо-востоке) – не могли, что обусловлено размывом в их апикальных зонах надежных девонских флюидоупоров, представленных пластами каменных солей. Каких-либо сведений о появлении позднепалеозойских поднятий во внутренних районах севера Тунгусской синеклизы, где могли существовать эти флюидоупоры, пока не известно. Поэтому, несмотря на активизацию в позднем палеозое структурно-формирующих тектонических движений, в это время трудно выделить на



севере Тунгусской синеклизы перспективные зоны нефтенакпления этого времени.

Очень важным для формирования потенциальных зон нефтенакпления оказался этап интенсивного раннетриасового траппового магматизма. Помимо активизации процессов миграции углеводородов, обусловленной господством в это время всестороннего растяжения [10], совокупность пластовых (силлов) и секущих (даек) трапповых интрузий образовала объемную сеть дополнительных экранов для углеводородов и путей их вертикальной и латеральной миграции. Особый интерес представляют и расположенные на моноклиналях и, что еще важнее, в осевых зонах структурных выступов и мысов на северо-западных и северо-восточных бортах Тунгусской синеклизы пространственные комбинации силлов и даек, подводящих для них магматический расплав. Теоретическое обоснование [11] специфических трапповых ловушек и зон нефтегазоаккумуляции для Тунгусской синеклизы убедительно подтверждено в бассейне р. Парана на Южно-Американском континенте, где в такой же ловушке на глубине 4200 м в песчаниках формации Фурнас было обнаружено крупное газовое скопление.

Большая вероятность существования подобных условий для концентрации углеводородов на бортах Тунгусской синеклизы позволяет с учетом особенностей их геологического строения предварительно наметить перспективные объекты для постановки геофизических работ и глубокого параметрического, а затем и поискового бурения: первоочередными являются Хантайский структурный мыс на северо-западном борту Тунгусской синеклизы и Верхнехугдякитское куполовидное поднятие на северо-восточном (см. рис. 7) [6]. Активное формирование этих поднятий происходило после завершения магматических процессов на фоне значительного относительного воздымания северо-западной и северо-восточной бортовых зон Тунгусской синеклизы. Очаги генерации углеводородов для них приурочены к глубоко прогнутым крупным отрицательным структурам севера Тунгусской синеклизы (Ламско-Хантайскому мегапрогибу и Верхнекочечумской впадине (см. рис. 7) и частично к еще более прогнутому в юрско-меловое время Енисей-Хатангскому региональному прогибу. Судя по нефтепроявлениям на Ледянской площади, ориентировочный объем извлекаемых преимущественно жидких углеводородов на Хантайской площади может превышать 1 млрд т УУВ, а на Верхнехугдякитской – 2 млрд т УУВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Геология** нефти и газа Сибирской платформы / под ред. А. Э. Конторовича, В. С. Суркова, А. А. Трофимука. – М.: Недра, 1981. – 552 с.
2. **Куренков С. А.** Сложные дайковые комплексы мезозойских траппов бассейна р. Нижняя

Тунгуска // Докл. АН СССР. – 1984. – Т. 279, № 6. – С. 1436–1440.

3. **Новейшая** тектоника нефтегазоносных областей Сибири / под ред. Н. А. Флоренсова, И. П. Варламова. – М.: Недра, 1981. – 240 с.

4. **Новые** материалы по стратиграфии докембрия и кембрия северо-востока Тунгусской синеклизы / Т. А. Дивина, Л. И. Егорова, А. А. Салихов и др. // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37. – № 7. – С. 23–33.

5. **О структурах** района Хантайского озера в связи с поисками нефти и газа / В. С. Старосельцев, Б. В. Олейников, Г. В. Козлов, Т. А. Дивина // Геология и геофизика. – 1968. – № 9. – С. 1165–1171.

6. **Предпосылки** обнаружения гигантского скопления нефти на северо-востоке Тунгусской синеклизы / В. С. Старосельцев, Т. А. Дивина, В. И. Вожов, Г. Н. Кулиш // Нефтегазоносные бассейны Западно-Тихоокеанского региона и сопредельных платформ. Сравнительная геология, ресурсы и перспективы освоения: Первая Международная конференция 21–26 апреля 1996 г.). – СПб., 1998. – С. 127–132.

7. **Погребницкий Ю. Е.** Палеотектонический анализ Таймырской складчатой области. – Л.: Недра, 1971. – 248 с.

8. **Старосельцев В. С.** Влияние посттрапповых тектонических движений на миграцию углеводородов в Тунгусской синеклизе // Геология и геофизика. – 1978. – № 9. – С. 49–58.

9. **Старосельцев В. С.** Мезозойско-кайнозойские тектонические движения северной части Тунгусской синеклизы в связи с оценкой ее нефтегазоносности // Новейшая тектоника Сибирской платформы и ее влияние на нефтегазоносность. – М.: Наука, 1985. – С. 56–64.

10. **Старосельцев В. С.** Тектоника базальтовых плато и нефтегазоносность подстилающих отложений. – М.: Недра, 1989. – 259 с.

11. **Старосельцев В. С.** Актуальные проблемы тектоники нефтегазоперспективных регионов. – Новосибирск: Наука, 2008. – 212 с.

12. **Старосельцев В. С., Кроль Л. А.** Раннепротерозойский комплекс севера Ангаро-Котуйского рифтогенного рифейского прогиба и его возможное влияние на нефтегазоносность // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – № 2 (18). – С. 16–24.

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

14. **Шпунт Б. Р., Нужнов С. В.** О нижнем протерозое северо-востока Сибирской платформы // Сов. геология. – 1973. – № 12. – С. 144–147.

15. **Brock V. B.** World Patterns and Lineaments // Transactions of the geological society of South Africa. – 1957. – Vol. 60. – P. 127–1175.

© В. С. Старосельцев, 2017

УДК (550.82.05+004.9):(552.578.2.061.4:552.54)(571.5)

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ, МЕТОДИЧЕСКИЕ И ПРОЦЕДУРНЫЕ ВОПРОСЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО БУРЕНИЯ НА МАЛОИЗУЧЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Л. М. Дорогиницкая, О. В. Шиганова

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

Коллекторы нефти и газа месторождений Восточной Сибири относятся к категории сложных. Их формирование – это результат постседиментационного геохимического преобразования карбонатного осадка и многократной разгрузки напряженного состояния после его консолидации с образованием систем трещин разного масштаба. Оценка граничных значений коллектор – неколлектор для карбонатных пород по петрофизическим параметрам только матрицы и уже после выбора объектов испытания приводит к несоответствию результатов испытаний истинным фильтрационно-емкостным свойствам коллекторов. Опыт работы с керном параметрических скважин показал, что его исследование заранее запланированным объемом лабораторных измерений и их обработкой с построением традиционных моделей «кern – kern» и «кern – ГИС», не позволяет создать кондиционную модель геологического разреза. В условиях малоизученных территорий Восточной Сибири необходимы нетрадиционные решения при комплексной обработке материалов бурения параметрических скважин.

Ключевые слова: доверительная увязка керна и материалов ГИС, карбонатный коллектор, литотипы пород в образах ГИС, напряженное состояние, около скважинное пространство, приток.

CONCEPTUAL, METHODOLOGICAL, AND PROCEDURAL ISSUES OF PARAMETRIC DRILLING DATA PROCESSING FROM POORLY EXPLORED TERRITORIES OF EAST SIBERIA

L. M. Doroginitskaya, O. V. Shiganova

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

Oil and gas reservoirs of East-Siberian fields are complex. They formed due to post-sedimentation geochemical alteration of carbonaceous sediments and multiple distressing after consolidation, with fracturing of various dimensions. The estimate of reservoir – non-reservoir border values for carbonaceous rocks from petrophysical parameters only of the matrix and only after target selection results in the fact that the testing outcome and the actual reservoir properties mismatch. The experience in working with core obtained from parametric wells has shown that it is impossible to construct a conditional model of a geological section by studying the core by a pre-scheduled scope of laboratory methods and by processing the data with the construction of conventional core-core and core-log models. For poorly explored areas of East Siberia, we need unconventional solutions and integrated processing of parametric drilling data.

Keywords: confidence tying of core and log data, carbonate reservoir, lithotypes of rocks in logs, state of stress, borehole surrounding space, inflow.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6с-80-92

В 2007 г. после длительного перерыва Роснедра начали полномасштабные работы по бурению параметрических скважин в Восточной Сибири с целью обоснования перспективных объектов для ускоренного воспроизводства углеводородного сырья. В 2007–2016 гг. пробурено 12 скважин глубиной от 2000 до 4500 м в разных структурно-тектонических и геологических условиях (рис. 1).

Особое внимание при исследовании параметрических скважин уделялось детальному изучению керна комплексом методов (литолого-минералогические и петрографические, петрохимические, органогеохимические, петрофизические, изотопные и др.). Выход керна при долблениях (1–24 м) составил от 15 до 100 %, в среднем по скважинам 80–97 %, а освещенность керном всего разреза не более 20 %. В процессе научного сопровождения бурения параметрических скважин в СНИИГГиМС создана процедура обработки керна матери-

ала, которая опирается как на существующие методические разработки ВНИГНИ, ВСЕГЕИ, АО «НПЦ «Недра», так и на собственные.

Проектный результат обработки данных лабораторных исследований керна в комплексе с геофизическими материалами и материалами испытаний представлен уточненным литолого-стратиграфическим разрезом скважин, геолого-геофизическими характеристиками пород для интерпретации геофизических данных, установлением нефтегазоносных и нефтематеринских свит, продуктивных нефтегазоносных горизонтов [1]. В условиях малоизученных территорий Восточной Сибири это требует специальных (нетрадиционных) подходов при комплексной обработке результатов изучения, испытания и опробования разреза и исследований керна параметрической скважины.

Применение нетрадиционных подходов необходимо по следующим причинам:

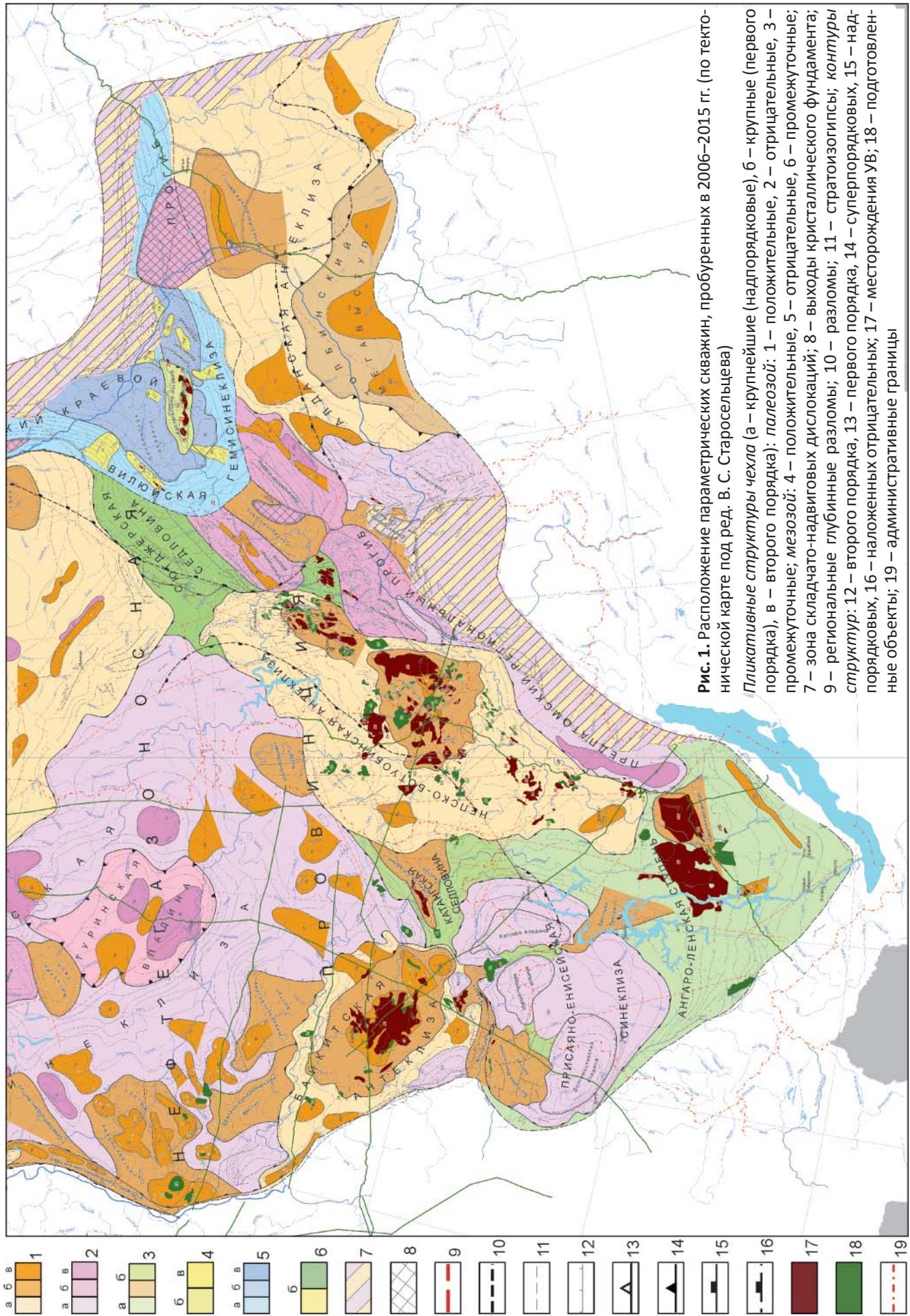


Рис. 1. Расположение параметрических скважин, пробуренных в 2006–2015 гг. (по тектонической карте под ред. В. С. Старосельцева)

Плктитивные структуры чехла (а – крупнейшие (надпорядковые), б – крупные (первого порядка), в – второго порядка); палеозой: 1 – положительные, 2 – отрицательные, 3 – промежуточные; мезозой: 4 – положительные, 5 – отрицательные, 6 – промежуточные; 7 – зона складчато-надвиговых дислокаций; 8 – выходы кристаллического фундамента; 9 – региональные глубинные разломы; 10 – разломы; 11 – стратоизогипсы; контуры структур: 12 – второго порядка, 13 – первого порядка, 14 – суперпорядковых, 15 – надпорядковых, 16 – наложенных отрицательных; 17 – месторождения УВ; 18 – подготовленные объекты; 19 – административные границы

- потребность в доверительной увязке большого объема керна и материалов ГИС при отсутствии методических разработок;
- присутствие в разрезе сложных карбонатных коллекторов, сформировавшихся в результате постседиментационного преобразования карбонатного осадка и многократной разгрузки напряженного состояния после его консолидации с образованием систем трещин разного масштаба и разной генетики (дилатантных и тектонических);
- сложность прогнозирования потенциально продуктивных горизонтов в проектируемых глубоких скважинах на относительно малоизученных территориях лишь по интерпретации материалов сейсморазведки при отсутствии каркаса опорных скважин;
- неоднозначность положения продуктивных пластов, неявность их приточности и состава притока по результатам оперативной обработке ГИС (в процессе бурения) по априорным петрофизическим моделям;
- априорная оценка граничных значений коллектор – неколлектор по петрофизическим параметрам матрицы для низкопоровых коллекторов с микротрещиноватостью;
- недооценка напряженного состояния пород в скважине при испытании порово-трещинных коллекторов, отсюда, несоответствие результатов испытания истинным фильтрационно-емкостным свойствам (ФЕС) коллекторов.

Доверительная увязка керна и ГИС

Это залог представительного отбора образцов керна и успешности петрофизического моделирования. Одна из задач бурения параметрических скважин – получение геолого-геофизических параметров для литолого-стратиграфической привязки геофизических границ (отражающих, преломляющих, плотностных, электрических, магнитных и т. п.) и данных о физических свойствах пород, необходимых для обоснованной интерпретации сейсмо-, электро-, грави- и магниторазведочных работ и промыслово-геофизических исследований. Столь широкий спектр областей использования данных определяет высокие требования к отбору образцов керна.

Увязка интервалов долбления керна и материалов ГИС во многом зависит от выхода керна и степени его разрушенности как при отборе, так и при транспортировке до лабораторий (рис. 2). Процедура лабораторной подготовки керна к отбору образцов предусматривает ревизию, профильную гамма-спектрометрию, распиловку, фотосъемку в дневном и ультрафиолетовом свете.

Не занижая уровень важности каждого из этапов, следует подчеркнуть, что профильная гамма-спектрометрия – база для увязки керна и ГИС. Стандартно ее шаг подстраивается под шаг ГИС (20 см), но этого явно недостаточно, особенно при малом выходе керна. Метод проб и ошибок показал, что

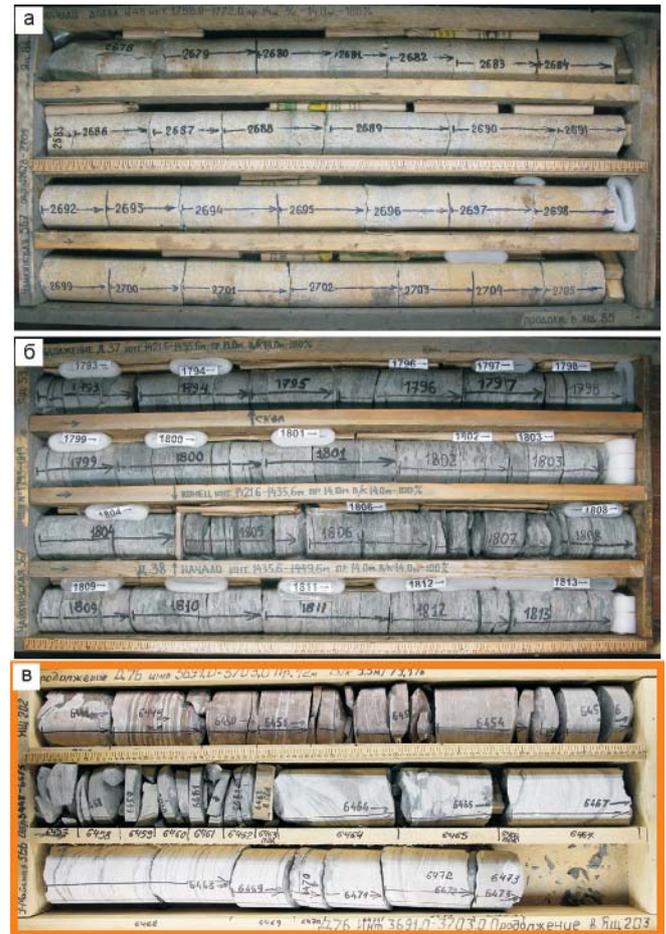
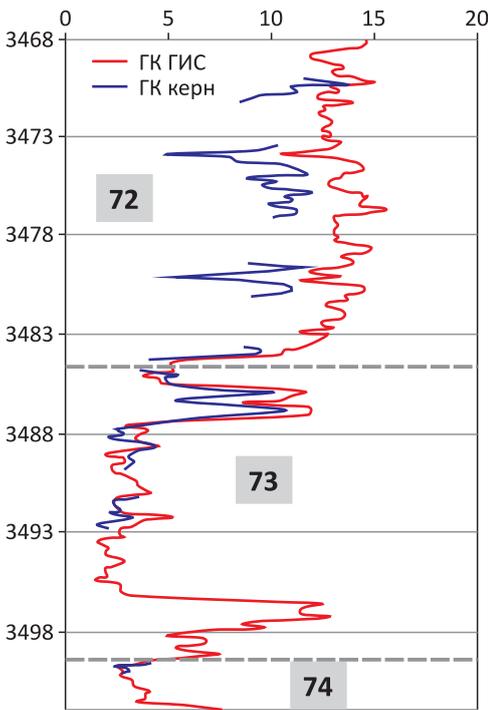


Рис. 2. Варианты состояния керна при поступлении в лабораторию: а – минимально разрушенной целостности, б – разрушенный до степени, затрудняющей укладку при профильной гамма-спектрометрии, в – разрушенный, сопоставление проблематично

шаг должен быть не менее 10 см, а при выходе керна менее 80% – 5 см. Первый пикет профиля всегда должен находиться в 5 см от начала керна, последующие замеры делаются через каждые 10 см. Каждый 5–10-й замер отмечается на фотографии керна. Строго фиксируется последнее измерение на долблении. Длина профиля должна соответствовать выходу керна, допустимая разница не более 10 см. Только при таком подходе увязка интервалов выхода керна с ГИС менее субъективна. На рис. 3, 4 приведены варианты увязки керна с ГИС для Усть-Майской параметрической скв. 366 при разном выходе керна.

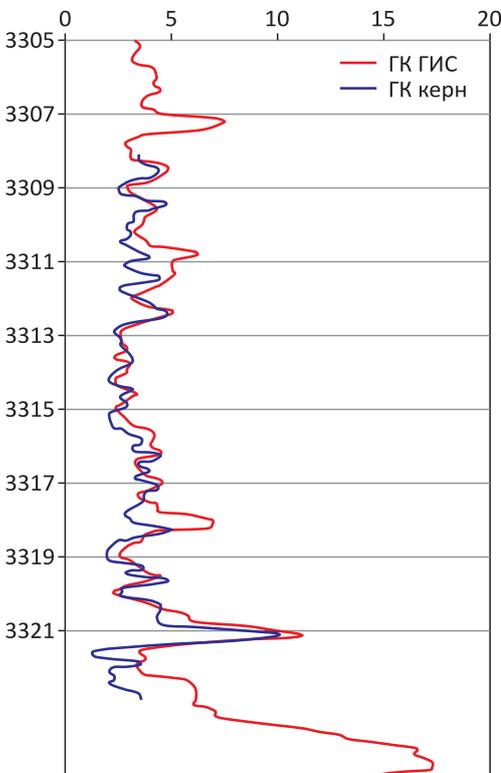
Доверительная увязка керна и ГИС оценивается по значению коэффициентов корреляционного отношения (r) или детерминации (R^2). Опыт показывает, что при $r < 0,8$ и $R^2 < 0,64$ увязка керна должна быть пересмотрена. Корреляция значений $G_{\text{керна}}$ и $G_{\text{скв}}$ после согласования глубин по бурению и по ГИС показана на рис. 5.

При отборе образцов исследователь руководствуется кривыми полного комплекса гамма-спектрометрических исследований на керне (кривыми по урану, калию и интегральной гамма-активности, последняя рассчитывается по формуле $eU = 1,79 qK + qU + 0,39qTh$ [8]).



№ долбления	Интервал по бурению и по профильной гамма-спектрометрии, м		Проходка, м	Вынос, м	Вынос, %	Изменения по ГИС, м
72	3471,3	3486,3	15,00	8,25	54,3	
	3471,4	3472,6				-1,4
	3472,8	3476,4				0,6
	3476,6	3478,2				2,8
	3478,4	3479				5,1
73	3486,3	3501,3	15,00	7,25	48,3	
	3486,4	3491,6				-1,8
	3491,8	3493,4				-0,6
74	3501,3	3516,3	15,00	0,75	5	
	3501,4	3502				-1,8

Рис. 3. Увязка керна нерюенской свиты по данным гамма-спектрометрии керна и ГИС (долбления 72–74)



№ долбления	Интервал по бурению и по профильной гамма-спектрометрии, м		Проходка, м	Вынос, м	Вынос, %	Изменения по ГИС, м
71	3303,7	3318,5	14,80	14,80	100	
	3303,8	3318,6				+4,3

Рис. 4. Увязка керна игниканской свиты по данным гамма-спектрометрии керна и ГИС (долбление 71)

Представительность коллекций петрофизических исследований и этапы их обработки

В соответствии с действующими методическими руководствами для петрофизических исследо-

ваний в стационарных лабораториях отбираются образцы керна для изготовления либо цилиндров, либо полноразмерных кернов. При этом теряется возможность включать в петрофизическое модели-

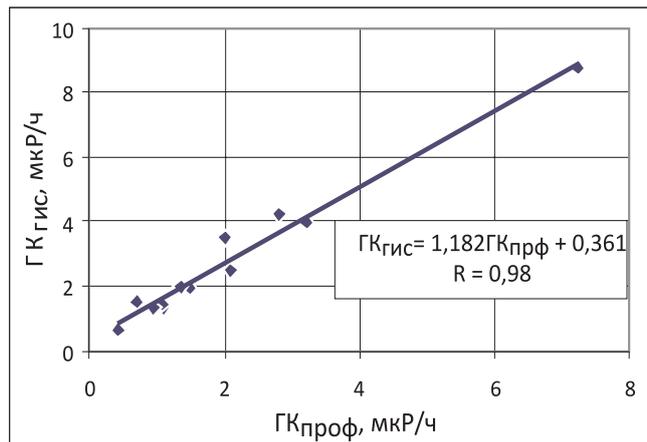


Рис. 5. Оценка доверительной увязки керна

рование интервалы «рассыпавшихся» кернов, отобранных из трещинных коллекторов.

В связи с этим коллекции образцов керна для петрофизических исследований должны быть разделены на две группы: массовые (кусочки керна) и детальные (цилиндры и полноразмерные образцы). Первая группа должна отбираться на скважине и обрабатываться в лаборатории еще на стадии бурения и отбора керна для разработки рабочих петрофизических моделей и оперативной интерпретации ГИС, планирования программы детальных петрофизических исследований. В перечень определяемых параметров первой группы рекомендуется включать ЯМР, ртутную порометрию (выборочно), плотность и пористость, пиролиз, РФА, ПКСА. Детальные исследования второй группы коллекции проводятся традиционными методами в соответствии с нормативно-методическими документами.

Литологические типы пород в образцах ГИС

В современной литературе достаточно полно разработаны технологии работы с терригенными породами, которые не вызывают особых трудностей при выделении литотипов пород через образцы ГИС в разрезе скважины. Сложности возникают при исследовании карбонатных разрезов, особенно когда в скелетной матрице отмечено несколько стадий генераций вторичных минералов с осложнением сульфатными и хлоридными солями, терригенными компонентами. Выделение типов пород в карбонатной толще по данным лабораторных исследований должно предшествовать оценке ФЕС. Такой же подход должен применяться и для терригенных пород.

В Восточной Сибири выделение типов пород по ГИС выполняется уже более полувека. В многочисленных публикациях приводятся примеры успешного решения этой задачи, но также указывается, что из-за мобильности состава и структуры пород при интерпретации материалов ГИС нельзя применять уже известные петрофизические модели для новых объектов, поскольку в основе их разработки лежат

литотипы пород и корреляционные зависимости локального уровня. К сожалению, в петрофизике нет четкого понятия литотипа и его эталона. Типы пород и граничные значения признаков их выделения в петрографических классификациях не учитывают особенностей их физических характеристик; собственно, нет и определенного набора таких параметров в количественном выражении (петрохимических, петрографических, органогеохимических, содержание акцессорных примесей) и их влияния на образы в ГИС.

Очень важно, что в качестве главных параметров выделения литотипа в петрофизических исследованиях можно использовать не только основные породообразующие минералы, но и петрохимические коэффициенты (Th/U, ⁴⁰K/U, CaO/MgO, $\Sigma\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 / \Sigma\text{CaO} + \text{MgO}$ и др.), что на практике применяется весьма ограниченно [5, 13]. Следует признать, что невозможно создать унифицированный эталон литотипа, он всегда будет в той или иной мере усредненным. Но он должен быть ориентирован на конкретные геологические условия (структурно-тектонические, седиментационные на уровне фаций, степень и направление катагенетической преобразованности пород), что позволит оценивать малоизученные территории на применимость эталонов.

В качестве примера на рис. 6 показано влияние минерального состава доломитов буюкской свиты венда на образы ГИС в разрезе Чайкинской скв. 279, на рис. 7 – влияния ангидрита на плотность и скорость продольных волн в доломитах. По данным изучения керна получены две зависимости скорости от пористости: для пласта Юр-1–2, содержащего глинистую составляющую и ангидрит, и для Юр-3, их не имеющего. Когда плотность пород пласта Юр-1–2 достигает значения 2,83 г/см³, предельного для чистых доломитов, скорости уменьшаются, но плотность продолжает увеличиваться до значений 2,95 г/см³, характерных для ангидритов. Такое поведение скорости связано с увеличением количества ангидрита, в котором скорости ниже, чем в доломите. Очевидно, по экспериментальным данным полезно выстраивать аналогичные связи с другими вариациями минеральных примесей для конкретного литотипа.

Большие вариации в соотношении доломита и ангидрита, наличие глинисто-битумной и кварцевой составляющих создают сложности при выделении типов пород. Рассмотрим это на примере водонасыщенных доломитов сложного состава буюкской свиты в разрезе Чайкинской скв. 279 (рис. 8, табл. 1).

Анализируя эти данные, можно отметить, что скорости продольных волн и показания НГК обратно пропорциональны гамма-активности пород по ГК, которая обусловлена наличием терригенной примеси и появлением ОВ вместе с глинистыми компонентами (см. рис. 8, а). Стремительное уменьшение скорости продольных волн обусловлено прежде

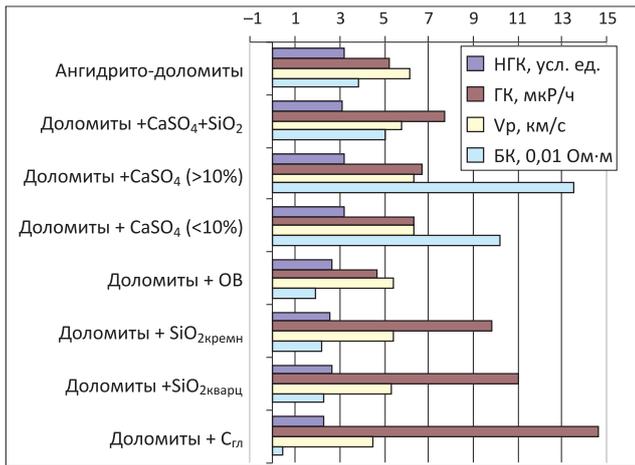


Рис. 6. Отражение минерального состава доломитов в геофизических характеристиках

всего изменением упругих модулей доломитов и некоторым увеличением (до 2–2,6%) их пористости.

Самая низкая гамма-активность свойственна ангидритам доломитизированным (не более 2,2 мкР/ч при пористости 0,4–0,6%), однако (см. табл. 1) трудно разделить доломиты по степени доломитизации в поле НГК – ГК и V_p – ГК. Можно только утверждать, что значения ГК чистых доломитов будут выше, чем у ангидритов доломитизированных. Это обусловлено излучением по урану.

УЭС пород по БК экспоненциально уменьшается с ростом ГК, при этом самые высокие сопротивления характерны для непористых ангидрито-доломитов (см. рис. 8, б, табл. 1), так как проводящее

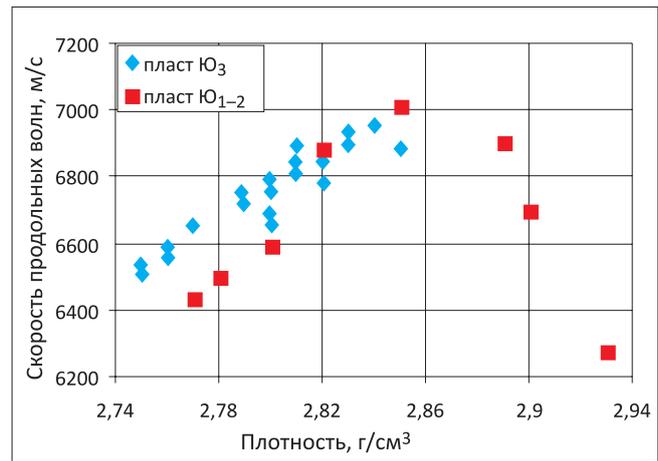


Рис. 7. Влияние ангидритизации доломитов на плотность и скорости продольных волн

поровое пространство в них заполнено непроводящим ангидритом.

Скорости продольных волн максимальны на значениях НГК около 3,5–3,6 усл. ед., выше которых они начинают уменьшаться вследствие большого содержания ангидрита (см. рис. 7 и 8, г).

Из проведенных сопоставлений можно сделать следующий практический вывод. Сульфатные низкопористые (0,4–0,7%) доломиты имеют очень высокие электрические сопротивления, сравнимые с таковыми у газонефтенасыщенных пород, но при этом у них аномально низкие значения ГК; НГК больше 3,6 усл. ед., скорости продольных волн выше 6 км/с. По этим критериям в дальнейшем их,

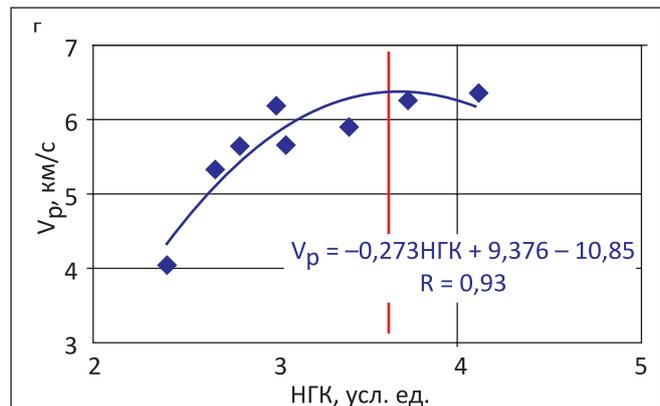
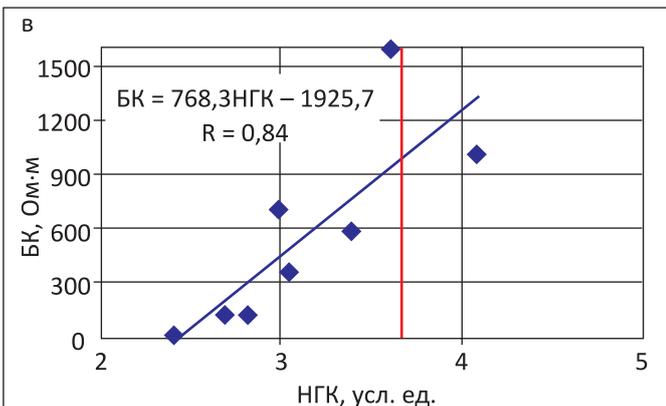
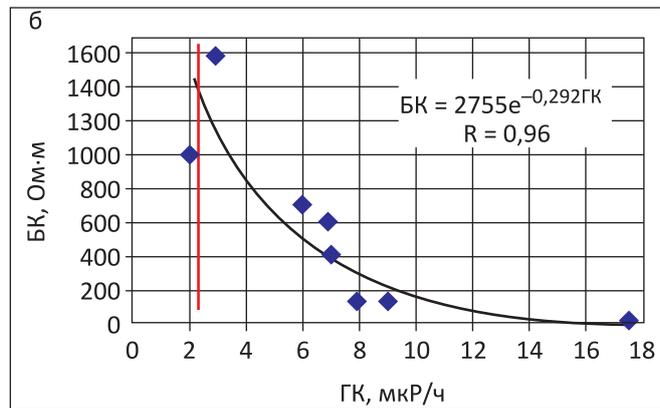
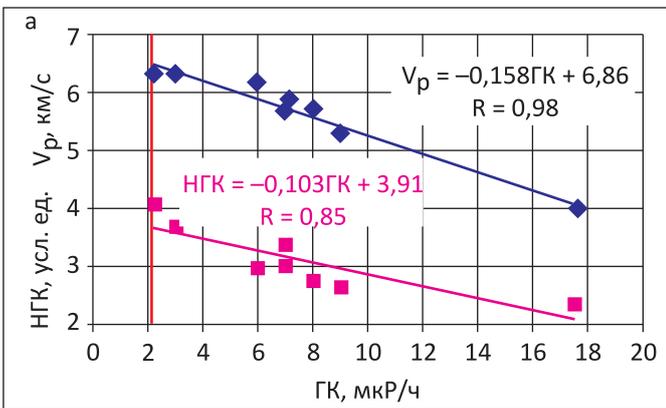


Рис. 8. Пропорции между параметрами ГК, НГК, БК и V_p в водонасыщенных (?) доломитах разного состава

Таблица 1

Соотношение между геофизическими параметрами пород бюксской свиты

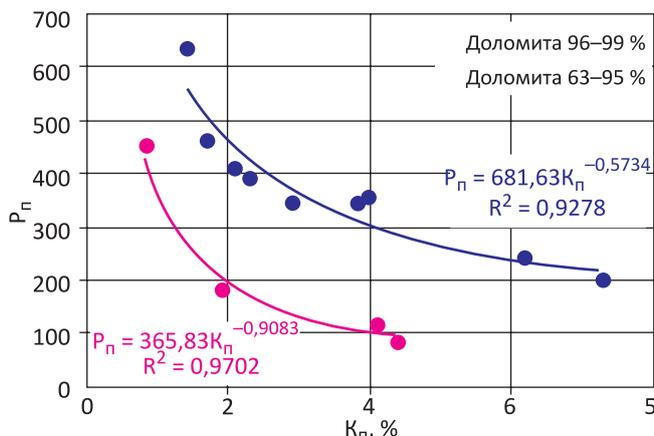
Глубина, м	Состав по шлифу, %	ГК, мР/ч	НГК, усл. ед.	V_p , км/с	БК, Ом·м	K_n , %
1394–1394,5	Доломит 43, кварц 44, сульфат 13	17,5	2,4	4,04	19	1,2
1395,2–1395,85	Доломит 74, сульфат 6, кварц 10 и др.	8	2,8	5,66	144	2,85
1395,85–1396	–	6	3	6,2	700	–
1397–1397,4	Доломит 57, сульфат 28, кварц 15	7	3,04	5,7	380	–
1398–1398,4	Доломит 73, сульфат 5, $C_{гн}$ +ОВ 16	9	2,68	5,3	130	2,6
1399,35	Доломит 79, сульфат 12, $C_{гн}$ +ОВ 19	7	3,4	5,9	590	0,68
1399,7–1395,2	Сульфат более 80	2,2	4,1	6,33	1000	0,42
1400,3–1401	Доломит 47, сульфат 50	3	3,72	6,33	1600	0,53

 Примечание: $C_{гн}$ – содержание глинистой фракции.

очевидно, и следует отличать от газонефтенасыщенных карбонатных коллекторов. Этот же пример показывает сложность разделения пород по составу на основе геофизических данных, если в составе карбонатов более двух минеральных фаз.

Особенности состава доломитов, в частности содержание в них нерастворимого остатка, влияют на зависимость параметра пористости от пористости (рис. 9).

Приведенные данные полезны в качестве дополнения к известной методике определения литологических компонентов породы и ее пористости


 Рис. 9. Зависимости $P_n(K_n)$ для доломитов разного состава юрской свиты

с помощью построения теоретических литологических сеток на кросс-плотингах первичных и нормированных данных акустического, плотностного, нейронного и электрического каротажей. При этом его авторы используют среднестатистические плотности, интервальное время, УЭС компонентов породы и уравнения аддитивного сложения, т. е. модель породы максимально упрощена [6, 10].

Выделение нефтегазоперспективных горизонтов и продуктивных пластов

Систематика литолого-стратиграфических объектов размещения и сохранения залежей углеводородов лежит в основе изучения и оценки нефтегазоносности территорий. Для Сибирской платформы такая систематика была предложена в монографии

[2]. В дальнейшем она получила развитие в работах Н. В. Мельникова и др. [14]. Нефтегазоносные горизонты кембрия и рифея – венда представлены в основном вторичными карбонатными полигенными коллекторами с системой трещин разного масштаба и относятся к категории сложных по прогнозированию ФЕС и приточности. Выделение пород-коллекторов, обоснование объектов испытания и успешность получения устойчивых притоков флюидов в карбонатных разрезах Сибирской платформы – важнейшие задачи, прежде всего в параметрических скважинах на малоизученных территориях.

Рассмотрим возможность выделения границ продуктивных горизонтов в разрезе карбонатной толщи на примере преображенского горизонта в Чайкинской параметрической скв. 279. Покрывающая преображенский горизонт толща представляет собой чередование преимущественно глинистых, в разной степени сульфатных (ангидритов доломитовых и доломитов ангидритовых) пород. В доломитах преображенского горизонта содержание терригенной примеси уменьшается до 0–5%, кремниевая и кварцевая составляющие не превышают долей процента. Характерно присутствие органики (до 2,5–5%) и наличие микротрещин. Подстилающая толща представляет собой сульфатно-карбонатную породу с содержанием глинистого материала до 1,5%, локально до 4%.

На рис. 10 приведены обзорные материалы ГИС, наглядно свидетельствующие, что в интервале 1369–1381 м преображенского горизонта наблюдаются существенные изменения показаний всех методов ГИС:

- резко снижается естественное гамма-излучение в кровле с 8–9 до 6 мкР/ч, а в подошве оно плавно повышается с 7 до 20 мкР/ч и более;

- показания НГК стабилизируются около значений 3,2–3,4 усл. ед., а интервальное время ΔT_p – в пределах 151–147 мс/м, что соответствует очень высокой скорости продольных волн (6,6–6,8 км/с), характерной для неглинистых низкопористых доломитов;

- УЭС резко возрастает в кровле от 300–400 до 2600 Ом·м, затем плавно снижается и в подстилающей толще не превышает 100–150 Ом·м.

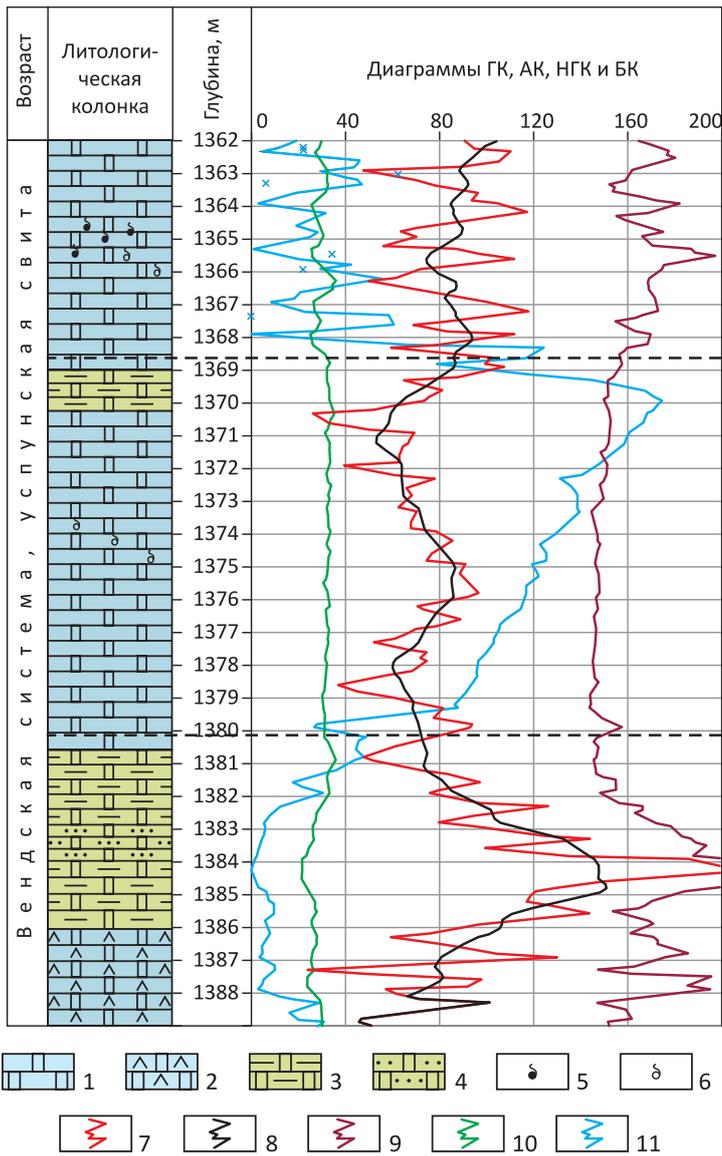


Рис. 10. Сопоставление диаграмм ГИС в интервале залегания преобразенского горизонта (Чайкинская скв. 279)

1 – доломит; 2 – доломит ангидритовый (переслаивание доломитов и сульфатов); 3 – доломит глинистый; 4 – доломит песчаный; 5 – легкий битум по трещинам; 6 – примазки вязкого битума по трещинам; каротажные кривые: 7 – ГК 10 мР/ч, 8 – сглаженная ГК, мкР/ч, 9 – ΔT_p , мс/м, 10 – НГК·10, усл. ед., 11 – БК·15, Ом·м

В подстилающих преобразенский горизонт породах существенному уменьшению показаний НГК и БК, возрастанию интервального времени, увеличению гамма-активности сопутствуют прежде всего увеличение терригенной примеси, снижение доломитовой составляющей и практическое отсутствие ангидрита. Покрывающая толща пород представляет собой чередование преимущественно глинистых в разной степени сульфатных пород. Отмечена четкая закономерность: чем выше содержание терригенной примеси, тем больше гамма-активность пород. Одновременное появление ангидрита существенно понижает гамма-активность пород. В зависимости от соотношения терригенного материала и ангидрита изменяются плотности и интервальное время. При одинаковой глинистости плотность и скорости продольных волн возрастают вместе с содержанием ангидрита, при этом увеличивается УЭС по БК.

В породах преобразенского горизонта сульфатизация пород изменяется от 0 до 22%. Гамма-активность пород в целом снижена. В интервале

1373–1376 м наблюдается необычное повышение показаний ГК сульфатных пород, которое не сопровождается заметными вариациями интервального времени продольных волн и показаний НГК. Нетрадиционное повышение гамма-активности, очевидно, связано с появлением в породе органического и глинисто-органического вещества, отмеченного в шлифах.

Преобразенский горизонт достаточно четко локализуется в поле V_p –ГК–НГК (табл. 2, 3, рис. 11) и может быть выделен по граничным значениям этих параметров.

Приточность объектов в интервалах опробования

За последние пять лет на Сибирской платформе в семи пробуренных параметрических скважинах при бурении и в колонне испытаны 64 объекта. Признаки флюидов получены в 14 объектах и только в четырех случаях получены притоки флюида более 0,5 м³/сут. Лишь эти испытания можно отнести к успешным. Основными причинами неуспешности испытаний можно считать:



Таблица 2

Статистические характеристики геофизических параметров преобразенского горизонта и вмещающих его пород (n – количество проб)

Статистические характеристики	НГК, усл. ед.	ГК, мР/ч	V _p , км/с	БК, Ом·м
Преобразенский горизонт				
Среднее	3,33	7,15	6,70	1652,97
Стандартная ошибка	0,01	0,14	0,01	56,10
Медиана	3,32	7,13	6,75	1761,35
Дисперсия выборки	0,01	2,47	0,18	412330,43
Минимум	3,09	2,49	6,30	266,22
Максимум	3,66	10,30	6,93	2631,36
n	131	131	131	131
Уровень надежности (95,0%)	0,02	0,27	0,02	110,99
Вмещающие породы				
Среднее	2,86	9,74	5,79	344,25
Стандартная ошибка	0,03	0,28	0,05	31,79
Медиана	2,85	9,56	5,87	206,21
Дисперсия выборки	0,10	10,86	0,29	141478,34
Минимум	2,20	2,47	4,02	13,97
Максимум	3,68	20,53	6,84	1883,28
n	140	140	140	140
Уровень надежности (95,0%)	0,05	0,55	0,09	62,85

Таблица 3

Статистические характеристики профильных измерений гамма-активности на керне преобразенского горизонта и вмещающих его пород (n – количество проб)

Статистические характеристики	ГК _{прф} , мкР/ч	K ⁴⁰ , %	U·10 ⁻³ %	Th·10 ⁻³ %	U/K ⁴⁰	Th/K ⁴⁰
Преобразенский горизонт						
Среднее	20,71	0,65	1,79	0,72	0,16	0,03
Стандартная ошибка	1,42	0,10	0,10	0,11	0,05	0,02
Медиана	14,54	0,05	1,64	0,00	0,00	0,00
Дисперсия выборки	391,79	1,82	2,09	2,49	0,56	0,04
Минимум	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Максимум	95,87	6,86	7,43	10,08	5,83	2,85
n	195	195	195	195	195	195
Уровень надежности (95,0%)	2,80	0,19	0,20	0,22	0,11	0,03
Вмещающие породы						
Среднее	26,30	1,06	1,82	1,13	0,12	0,03
Стандартная ошибка	1,14	0,07	0,11	0,13	0,04	0,01
Медиана	22,17	0,67	1,39	0,00	0,01	0,00
Дисперсия выборки	324,87	1,25	2,81	4,41	0,43	0,03
Минимум	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Максимум	89,29	4,70	8,26	13,93	7,81	2,47
n	249	249	249	249	249	249
Уровень надежности (95,0%)	2,25	0,14	0,21	0,26	0,08	0,02

– априорную оценку граничных значений физических показателей границы коллектор – неколлектор для карбонатных пород;

– невозможность воспроизведения трещинной проницаемости в лабораторных условиях;

– неучет напряженного состояния пород до и после бурения и его влияния на ФЕС коллекторов в околоскважинном пространстве.

Исследования по определению нижних пределов коллекторских свойств карбонатных пород осинского, юржского и преобразенского потенциально продуктивных горизонтов в Чайкинской скв. 367 показали, что границу коллектор – неколлектор при выделении объектов испытания следует проводить прежде всего по свойствам матрицы пород по условию $K_{во} + K_{но} < 100$ [9, 11, 15]. Это первое неперемное условие успешности испытания коллектора.

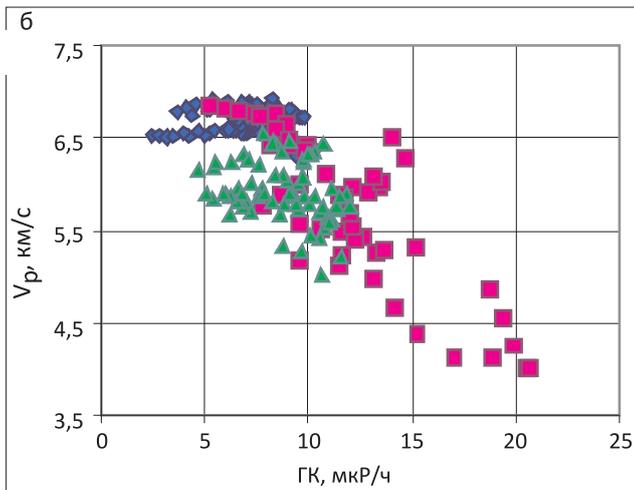
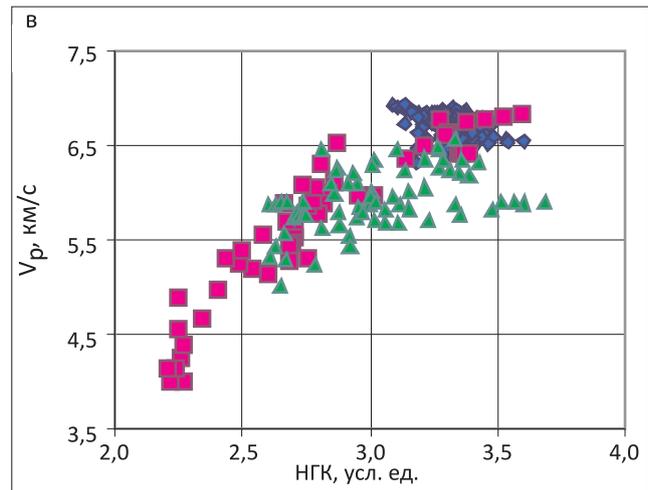
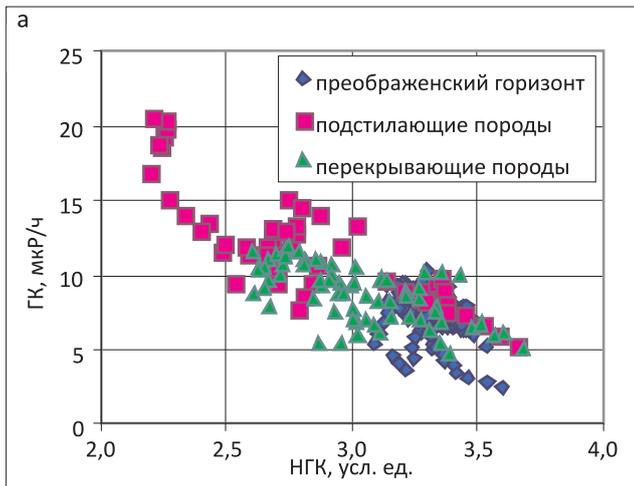


Рис. 11. Полигоны НГК–ГК (а), V_p –ГК (б) и V_p –НГК (в) для преобразованного горизонта и вмещающих его пород

Пористость матрицы еще не означает, что порода содержит подвижные флюиды. Так, на рис. 12 видно явное наложение диапазонов изменения коэффициента пористости для коллектора и неколлектора.

Для параметрических скважин $K_{во}$ и $K_{но}$ определяются уже после выбора и согласования объектов испытания, что обуславливает возможность неуспешного испытания отдельных объектов.

Разработка валидных петрофизических моделей для интерпретации ГИС при выделении объектов испытания в процессе бурения скважины возможна при использовании массовых методов петрофизических исследований пород, например по ЯМР в модификации АО «НПЦ «Недра» (рис. 13).

Второе неперемное условие успешного испытания трещинно-поровых и трещинных коллекторов – оценка тангенциального напряжения в прискважинной зоне пласта [3, 4, 7, 12, 16].

Пробуренная скважина изменяет напряженное состояние горных пород, сложившееся за время их существования. Если в породе существует система раскрытых вертикальных и квазивертикальных трещин, то новое тангенциальное (кольцевое сжимающее) напряжение может уменьшить их раскрытость. Тангенциальное напряжение зависит от плотности

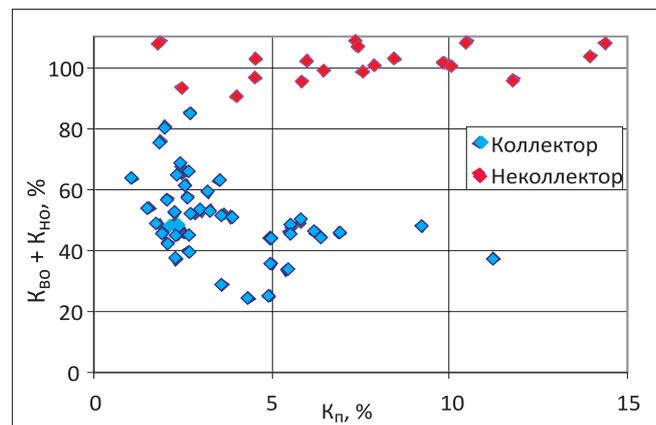


Рис. 12. Сопоставление пористости пород и остаточного флюидонасыщения (использованы определения, где сумма превышает 100%, с учетом точности определения $K_{во}+K_{но}$ не больше 10%)

жидкости, заполняющей скважину. Изменяя γgH , его можно регулировать:

$$\sigma_0^0 = -2k\rho gH + \gamma gH + nP_{пл}$$

где k – коэффициент бокового отпора; ρ – плотность пород; γ – плотность бурового раствора; g – ускорение силы тяжести; n – коэффициент разгрузки напряжений в скелете породы пластовым давлением ($P_{пл}$).

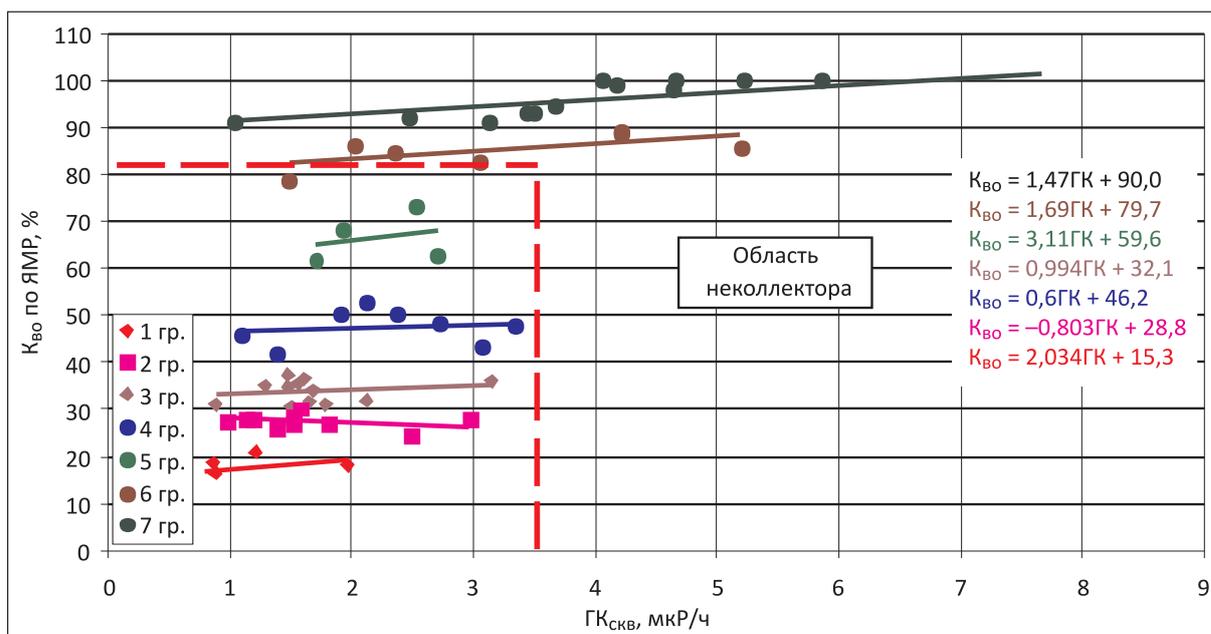


Рис. 13. Граница коллектор – неколлектор по ГК и $K_{во}$ ЯМР для разных групп карбонатных пород

Расчет напряжений (σ_0), «схлопывающих» основные фильтрующие трещины в околоскважинном пространстве, для продуктивных горизонтов Чайкинской скв. 367 показал, что они зависят от упругих свойств пород, определяющих коэффициент бокового отпора. Значения тангенциального напряжения (упругая модель) и пластового давления могут быть сопоставимы и в этом случае могут изменять раскрытость трещин. Пластовое давление и тангенциальное напряжение – антагонисты: если первое поддерживает раскрытость пустот коллектора, то второе стремится их закрыть. Поскольку σ_0 зависит от депрессии на пласт (γgH), это предъявляет дополнительные требования при выборе ее предельных значений. В табл. 4 представлен расчет тангенциального напряжения в околоскважинном пространстве на глубинах размещения объектов испытания и предельных значений депрессий, при которых возможно полное «схлопывание» трещинного коллектора.

В табл. 5 приведены результаты испытаний и физические свойства ряда венд-кембрийских потенциально продуктивных горизонтов Чайкинской

скв. 367. Для талахского, телгеспитского, юряхско-3, кудулахского горизонтов, судя по значениям $K_{во}$, K_p , имеются явные предпосылки () присутствия подвижных флюидов и получения значимого притока. Между тем приток получен только в тех горизонтах, где депрессия (ΔP) на пласт не превысила своих предельных значений.

Выводы

1. Опыт работы с керном параметрических скважин показал, что его исследование с заранее запланированным объемом лабораторных измерений и построением традиционных моделей «кern – kern» и «кern – ГИС» не позволяет создать кондиционную геологическую модель коллектора.

2. Исследования керна и шлама параметрической скважины следует начинать в процессе бурения с экспрессных массовых методов, включающих пиролитические исследования (ТМС, RockEval), петрофизические (ЯМР, ртутная порометрия (выборочно), плотность, пористость), геохимические (РФА, ПКСА). На основе полученных данных разра-

Таблица 4

Тангенциальное напряжение и предельные депрессии

Объект	H, м	$P_{горн}$, МПа	$2kpgH$, МПа	g , г/см ³	gH , МПа	$P_{пл}$, МПа	σ_0 , МПа	Предельная депрессия, МПа
Вилючанский	1745	46	37	1,08	18,8	15,06	-3,2	11,9
Талахский	1635	43	35	1,08	17,7	14,1	-3,0	11,1
Хамакинский 1	1560	41	33	1,08	16,8	13,48	-2,8	10,7
Хамакинский 2	1450	39	31	1,23	17,8	12,51	-0,5	12,0
Телгеспитский	1282	34	27	1,23	15,8	11,06	-0,4	10,6
Кудулахский	1056	28	22	1,23	13,0	9,11	-0,3	8,8
Юряхский 3	993	26	21	1,23	9,0	8,97	-3,2	5,8
Осинский	887	24	19	1,23	10,9	7,1	-0,8	6,3



Таблица 5

Петрофизические характеристики и результаты испытаний

Интервал испытания, м	Объект	K _п , %		K _{во} , %	ΔP, МПа	P _{пл} , МПа	Приток, м ³ /сут
		по ГИС	по керну				
1740–1750	Вилючанский	3,4–4,9	1,6–13,0	72–79	13,5	15,06	0
1619–1650	Талахский	2,8–8,5	2,1–13,4	57–83	12,8	14,10	0
1554–1566	Хамакинский 1	7,6–10	0,6–7,4	78–80	13,9	13,48	0
1441–1458	Хамакинский 2	–	–	–	10,8	12,51	Газ
1276–1288	Телгеспитский	6,5–10,5	1,6–8,7	37–44	10,3	11,06	0
1053–1059	Кудулахский	7,2–10,7	–	–	8,63	9,11	1,1
981–1005	Юряхский 3	2,2–4,4	0,8–7,0	42–59	7,75	8,97	2,1 (0,5 нефть)
876–896	Осинский	7,1–12,4	0,2–9,5	3,5–5,7	0,02	7,1	78,6

бываются рабочие петрофизические модели для оперативной интерпретации ГИС и планируется программа детальных петрофизических исследований.

Отбор образцов керна для детальных петрофизических исследований необходимо выполнять после доверительной увязки профильного ГК керна и ГК скважины при $r \geq 0,8$.

3. Петрофизическое моделирование литологических типов пород при интерпретации литолого-стратиграфического разреза параметрической скважины важно проводить с максимальным использованием количественных критериев: содержание породообразующих и акцессорных минералов, а также органогеохимические и петрохимические параметры и коэффициенты.

4. Интервалы испытания выбираются после массовых экспрессных исследований керна с учетом основного петрофизического фильтра ($K_{во} + K_{но} < 100\%$) и выделения трещиноватых интервалов. Обоснование граничных значений депрессий на испытываемый пласт необходимо проводить на основе расчетов напряженного состояния пород в околоскважинном пространстве. Это позволит оценить гидродинамическую связь скважины с системой трещин, по которым осуществляется основное движение флюидов в порово-каверново-трещинном коллекторе.

5. Необходима разработка регламентов петрофизических исследований керна параметрических скважин:

- проведения профильных измерений керна и доверительной увязки $GK_{керна} - GK_{ГИС}$;
- программ массовых и детальных лабораторных исследований керна и шлама, отвечающих современному уровню инструментального и методического обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Временное** положение об этапах и стадиях геолого-разведочных работ на нефть и газ: Приказ МПР РФ от 07.02.2001 № 126. – М., 2001.
2. **Геология** нефти и газа Сибирской платформы / под ред. А. Э. Конторовича, В. С. Суркова, А. А. Трофимука. – М.: Недра, 1981. – 552 с.

3. **Динник А. Н.** О давлении горных пород и расчет крепи круглой шахты // Инженерный работник. – 1925. – № 7.

4. **Дорогиницкая Л. М., Шиганова О. В., Стомпелев И. Е.** Выделение приточных пород-коллекторов в венд-кембрийских отложениях Сибирской платформы (на примере параметрической Чайкинской скв. 367) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2016. – № 2 (26). – С. 50–64.

5. **Дудаев С. А.** Информативность гамма-спектрометрии скважин при изучении глинистых коллекторов Предкавказья // Каротажник. – 2011. – № 7(205). – С. 85–101.

6. **Жданова М. В.** Обоснование интерпретационной модели для определения фильтрационно-емкостных свойств водоносных пластов при строительстве подземных хранилищ газа // Каротажник. – 2014. – № 6 (240). – С. 59–73.

7. **Ильинский В. М., Лимбергер Ю. А.** Геофизические исследования коллекторов сложного строения. – М.: Недра, 1981. – 207 с.

8. **Интерпретация** результатов геофизических исследований нефтяных и газовых скважин: справочник / под ред. В. М. Добрынина. – М.: Недра, 1988. – 470 с.

9. **Кожевников Д. А.** Проблемы интерпретации данных ГИС // Информация и космос. – 2005. – № 1. – С. 29–41.

10. **Количественная** оценка добычных характеристик коллекторов нефти и газа по петрофизическим данным и материалам ГИС / Л. М. Дорогиницкая, Т. Н. Дергачева, А. Р. Анашкин и др. – Томск: SNN, 2007. – 278 с.

11. **Количественная** оценка параметров нетрадиционных пород-коллекторов / В. Ф. Козляр, В. М. Темников, В. В. Егоров, Н. В. Козлов // Каротажник. – 2007. – № 10 (163). – С. 49–60.

12. **Лехницкий С. Г.** Определение напряжений в упругом изотропном массиве вблизи вертикальной цилиндрической выработки кругового сечения. – М.: Изд-во АН СССР, Отд. техн. наук, 1938. – С. 70–75.

13. **Мельник И. А.** Вычисление интенсивности вторичных геохимических процессов в песчаных пластах по материалам геофизических исследова-



ний скважин // Каротажник. – 2014. – № 1 (245). – С. 52–65.

14. **Мельников Н. В.** Нефтегазоносные комплексы Лено-Тунгусской НГП // Геология и геофизика. – 1996. – Т. 37, № 8. – С. 196–205.

15. **Семенов В. В., Элланский М. М.** Уточнение понятия «граница коллектора» для нефти

и воды // Геофизика. – 2004. – Спец. выпуск. – С. 78–82.

16. **Сибиряков Б. П.** Напряженное состояние горных пород в окрестности скважины (на примере горных пород Сибирской платформы) // Геология и геофизика. – 1993. – Т. 34, № 9. – С. 73–80.

© Л. М. Дорогиницкая, О. М. Шиганова, 2017



ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ НА ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ И ПО ГОСУДАРСТВЕННОМУ ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ КАРТИРОВАНИЮ АО «СНИИГГИМС» В 2007–2016 ГГ.

А. И. Черных¹, Г. А. Бабин², С. Г. Мишенин³, О. В. Мурзин³,
А. Ю. Ширококов³, Е. В. Ветров³

¹ Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов, Москва, Россия; ² Всероссийский научно-исследовательский геологический институт, Санкт-Петербург, Россия; ³ Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

Приведены основные итоги работы отделения (в настоящее время департамента) геологии твердых полезных ископаемых СНИИГГИМС за 2007–2016 гг. Основными направлениями работы отделения в этот период являлись прогнозирование и поиски золотого, полиметаллического оруденения, алмазов и проведение региональных геолого-съёмочных работ масштабов 1:200 000 и 1:1 000 000. Важным шагом явилось резкое увеличение объемов полевых работ, расширение географии их проведения и внедрение в практику новых видов исследований. Важнейшим результатом работ отделения стало создание коллектива, который способен решать самые сложные задачи в области геологического картографирования, прогноза и поисков твердых полезных ископаемых.

Ключевые слова: твердые полезные ископаемые, поисковые работы, золотое оруденение, цветные металлы, алмазы, государственное геологическое картирование.

MAIN RESULTS OF WORK ON HARD MINERAL RESOURCES AND STATE GEOLOGICAL MAPPING AT SNIIGGIMS FOR 2007–2016

A. I. Chernykh¹, G. A. Babin², S. G. Mishenin³, O. V. Murzin³, A. Yu. Shirobokov³, E. V. Vetrov³

¹ Central Research Geological Exploration Institute of Non-Ferrous and Noble Metals (TsNIGRI), Moscow, Russia; ² A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI), St. Petersburg, Russia; ³ Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia

The authors discuss the main results of work of the Department of Hard Mineral Resources of SNIIG-GiMS for 2007–2016. The key focus areas of the department in the period was prediction of and prospecting for gold and polymetallic mineralisation, diamonds, and regional geological survey at a scale of 1 to 200,000 and 1 to 1,000,000. An important step was increasing the scope of field work, widening their coverage, and introducing new types of research. An important result of the department's work was building the team able to solve the most complicated tasks in the field of geological mapping, prediction of and prospecting for hard mineral resources.

Keywords: hard mineral resources, prospecting, gold mineralisation, non-ferrous metals, diamonds, state geological mapping.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6c-93-101

Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГИМС) на протяжении всей своей истории был ведущим предприятием Сибири в структуре Министерства геологии СССР, а в дальнейшем Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (МПР). Надежной основой стабильности и производственной мощи института была его комплексность – ориентация на исследования горючих и твердых полезных ископаемых геологически, геофизическими и геохимическими методами.

К середине 2000-х гг. в институте был накоплен огромный опыт проведения научно-исследовательских и геолого-разведочных работ (ГРП) в области твердых полезных ископаемых (ТПИ). С момента создания института и на протяжении всей его истории исследования в области геологии ТПИ занимали одно из ведущих мест, что во многом определяло направления ГРП в Сибири. Наибольшее внимание уделялось месторождениям золота, железа, марганца, хрома, титана, алюминия, меди, свинца, цинка,

алмазов, фосфоритов, торфа. Основные достижения института в 1960–1980-е гг. связаны с работами его выдающихся сотрудников – А. С. Калугина, докторов г.-м. н. В. П. Казаринова, Н. Н. Амшинского и В. И. Бгатова, к. г.-м. н. Э. Г. Кассандрова и некоторых других.

В области геологического картирования институт имеет богатые традиции и опыт. Ученые института приняли непосредственное и самое активное участие в составлении большинства сводных и обзорных карт Сибири. В секторе геологической карты предприятия под руководством д. г.-м. н. профессора Станислава Болеславовича Шацкого и к. г.-м. н. Алексея Ефимовича Бабушкина в 1977–2002 гг. подготовлено 13 комплектов Государственной геологической карты м-ба 1: 000 000 (новая серия) и около десяти комплектов Госгеолкарты-200. Изученная территория охватывает почти всю Западную Сибирь. Редакторами госгеолкарт были выдающиеся ученые: акад. В. С. Сурков, С. Б. Шацкий, их авторами – признанные знатоки Западной Сибири А. Е. Бабуш-



кин, В. А. Даргевич, А. Г. Головина, Н. В. Григорьев, В. И. Стасов, Л. В. Смирнов и др.

В 1990-е гг. СНИИГГиМС, как и вся геологическая отрасль в России, переживал сложные времена: работы по многим направлениям исследований сворачивались, катастрофически упали объемы работ и финансирования, резко сократилось количество сотрудников. С приходом в 2003 г. на должность директора к. г.-м. н. Алексея Ивановича Варламова (ныне д. г.-м. н.) институт начал возвращать себе статус ведущей геологической организации. И если в отделах, связанных с изучением углеводородного сырья, удалось преодолеть кризис 1990-х гг., то в подразделениях, занимающихся геологией ТПИ и геологическим картированием, исследования велись по единичным договорам, направленным на решение локальных задач.

К 2007 г. работы по этим направлениям были сконцентрированы в отделе геологии твердых полезных ископаемых (завотделом д. г.-м. н. Г. Н. Черкасов) и в отделе региональной геологии (завотделом к. г.-м. н. Г. А. Бабин). Оба отдела входили в отделение региональной геологии и ТПИ под руководством к. г.-м. н. И. В. Будникова. В начале 2007 г. здесь работал 41 сотрудник (около 6% от численности института), средний возраст которых составлял примерно 52 года.

К этому времени накопилось значительное количество организационных, кадровых и финансовых проблем, особенно остро проявившихся при выполнении заключенного в 2007 г. крупного государственного контракта «Поисковые работы по выявлению золоторудных полей в метасоматитах Шерегешевской площади Горной Шории (Кемеровская область)». Из-за неудачного начала работ в 2007 г., невыполнения полевых исследований летом 2008 г. и использования методики, не обеспечивающей решение геологических задач, заказчиком (Роснедра) рассматривался вопрос о досрочном прекращении работ.

При активном участии генерального директора А. С. Ефимова, его заместителей И. В. Будникова и В. М. Евтушенко зимой 2009 г. в отдел геологии ТПИ были приняты сотрудники с опытом производственных и научно-исследовательских работ – к. г.-м. н. С. Г. Мишенин, к. г.-м. н. Ю. В. Утюпин, Н. А. Бакшеев, а возглавил его к. г.-м. н. А. И. Черных.

В 2009–2011 гг. сотрудникам отделов геологии твердых полезных ископаемых и региональной геологии за счет концентрации усилий на ключевых организационных задачах удалось не только переломить сложную ситуацию, но и существенно увеличить объем и качество исследований. Положительные результаты работы отделов были замечены руководством, и в марте 2012 г. на их базе было создано отделение геологии минерального сырья (ОГМС). С момента создания и до марта 2016 г. руководителем ОГМС был заместитель генерального директора А. И. Черных. В 2014 г. в связи с резким

увеличением объемов обработки проб, изготовления шлифов и аншлифов в состав отделения вошел новый отдел обработки каменного материала (завотделом В. Ф. Шемендюк).

В 2009–2016 гг. работы в отделе геологии ТПИ выполнялись по трем тематическим направлениям: 1) изучение металлогении золота, прогнозирование и поиски золотого оруденения (рук. А. И. Черных); 2) прогнозирование и поиски алмазов (руководитель признанный авторитет в области алмазной геологии С. Г. Мишенин); 3) прогнозирование и поиски месторождений цветных металлов колчеданно-полиметаллической формации (рук. О. В. Мурзин).

Золото

Знаковым событием для отдела стало получение в 2007 г. Государственного контракта по выявлению золоторудных полей в метасоматитах Шерегешевской площади (рис. 1). Целевое назначение работ – выявление рудных полей с минерализованными зонами прожилково-вкрапленных золотосульфидно-кварцевых руд в метасоматически измененных вулканогенно-осадочных толщах с локализацией и оценкой прогнозных ресурсов рудного золота категории P_2 50 т. Ошибки начального этапа работ (2007–2008 гг.) удалось исправить благодаря усилиям новой команды сотрудников с производственным опытом – А. П. Долгушина, А. И. Черных, Н. А. Бакшеева, В. С. Сенкевича, М. В. Викторова и др. Изменив в 2009 г. методику и организацию работ, в итоге им удалось получить все ожидаемые результаты, в том числе оценить прогнозные ресурсы золота Викторьевского золоторудно-россыпного поля (54 т по категории P_2 , а за его пределами – по всей Шерегешевской площади 33 т по категории P_3). В этой работе принимали участие сотрудники отдела геологии ТПИ (А. И. Черных, Н. А. Бакшеев, В. С. Сенкевич, М. В. Викторов, И. В. Шаламов и др.) и отделения геофизики (Г. М. Тригубович, М. Г. Пустозеров, Н. И. Паули).

Один из наиболее успешных проектов, выполненных в СНИИГГиМС, – поисковые работы на рудное золото на Деспенской площади (Республика Тыва) (см. рис. 1). Данный проект возник благодаря прогнозу сотрудников отдела геологии ТПИ, их успешным рекогносцировочным полевым работам 2010 г. и поддержке Тыванедра (нач. управления Е. Д. Шабалинская). Целевое назначение работ – поиски рудного золота, выявление жильно-прожилковых, прожилково-вкрапленных зон золотокварцевого, золото-сульфидно-кварцевого состава в вулканогенно-осадочных породах позднего рифея – раннего кембрия в пределах потенциальных рудных полей Деспенской площади локализацией и оценкой прогнозных ресурсов золота 60 т по категории P_2 .

В результате удалось выделить Деспенское, Сувактыгское и Овур-Онгешское золоторудные поля, для которых оценены прогнозные ресурсы золота (92 т по категории P_2). Оценка проводилась по выяв-



ленным минерализованным зонам на основе полученных рудных сечений мощностью 3–21 м с содержанием золота более 2 г/т до глубины 100 м. Проведенные работы значительно увеличили ресурсный потенциал золота Республики Тыва и показали, что Восточно-Таннуольский железо-медно-золоторудный район имеет реальные перспективы для выявления золоторудных объектов промышленного значения. В работе принимали участие А. Ю. Ширококов, А. И. Черных, М. В. Викторов, В. В. Меркулов, А. О. Лакутин, М. А. Шеин, В. С. Сенкевич, И. В. Шаламов и др.

Во многом благодаря успешным работам на Деспенской площади отделению геологии минерального сырья удалось развернуть в Республике Тыва дальнейшие поисковые работы на золото и работы по ГДП-200.

Продолжением работ на золото в Тыве стали поисковые работы на коренное золотое оруденение на Ургайлыгской площади. Руководил ими А. Ю. Ширококов. К сожалению, в 2015 г. в связи с административно-организационными проблемами генерального подрядчика (АО «Росгеология») работы были начаты только в августе, полевой сезон фактически был сорван. И тем не менее благодаря добросовестной работе сотрудников нашего отдела удалось выполнить большую часть геофизических и геохимических работ. В 2016 г. после всех необходимых полевых, камеральных и лабораторных работ были установлены мощные линейные зоны с золото-сульфидно-кварцевой минерализацией, расположенные в приконтактных частях массивов таннуольского комплекса. Впервые в Восточно-Таннуольском районе выявлены золотоносные метасоматиты кварц-серицит-анкеритового и кварц-серицитового составов с содержанием золота до 4,5 г/т. К сожалению, намеченные на III квартал 2016 г. буровые работы по заверке на глубину прогнозируемых золотоносных зон проведены не были в связи с технической неспособностью субподрядчика их выполнить. По инициативе генерального подрядчика работы по данному объекту в первом квартале 2017 г. были свернуты, а во втором – закрыты. В работах участвовали А. Ю. Ширококов, М. В. Викторов, М. А. Шеин, В. В. Меркулов и др.

Сотрудниками ОГМС А. Б. Шепелем, М. Е. Гавриленко и В. П. Лепилиным спрогнозировано и на протяжении последних 15 лет активно изучалось золотое оруденение в кварц-серицит-анкеритовых метасоматитах Ортон-Балыксинского золоторудно-россыпного района. Здесь работы, направленные на изучение вещественного состава руд золота и вмещающих метасоматитов, выполнялись по нескольким субподрядным договорам. В 2012–2014 гг. Н. Г. Исыповым, Н. А. Бакшеевым, В. И. Притчиной, А. А. Стамберским, А. Б. Шепелем, М. Е. Гавриленко и др. в этом районе проводились геохимические поиски аномальных зон, изучение минерального состава руд, метасоматитов и вмещающих пород

с разработкой направления заверочных работ Ортон-Федоровской площади. В результате полевых и камеральных работ оценены прогнозные ресурсы золота категорий P_1+P_2 по прогнозируемому Ортонскому рудному полю (17,6 т) и по участку Лазаретному (40,7 т).

Важное значение в исследованиях золотого оруденения имела работа с недропользователями. В 2011–2013 гг. Н. А. Бакшеев, А. И. Черных, А. А. Стамберский, В. С. Сенкевич и др. проводили геологическое изучение и оценку Еловского участка (Новосибирская область) на коренное золото и золото в корах выветривания. В результате на участке выделены несколько потенциально золотоносных линейных зон, выявлены гидротермально измененные породы с кварц-серицитовыми, березит-пропилитовыми золотоносными метасоматитами, сопровождаемыми колчеданно-барит-полиметаллическим с золотом и золото-серебро-блеклорудным с теллуридами оруденением. К сожалению, работы были прерваны недропользователем и возобновлены только в 2017 г.

Цветные металлы

Работы на полиметаллическое оруденение в СНИИГГиМС в последние 10 лет проводились в Рудном Алтае и на Салаирском кряже совместно с отделением геофизики. В 2009 г. сотрудники института принимали участие в опережающих геолого-геофизических работах для обоснования переоценки перспектив полиметаллического оруденения Рудного Алтая (Алтайский край) с целью разработки основы для создания ведущего в Российской Федерации центра по добыче свинца и цинка. В исследованиях участвовало семь организаций под общим руководством ЦНИГРИ. Сотрудники СНИИГГиМС выполняли комплексные аэрогеофизические работы на объекте. С использованием полученных геолого-геофизических материалов была подготовлена основа прогнозирования месторождений рудноалтайского типа для Рубцовского, Змеиногорского и Золотушинского рудных районов. В работах участвовали сотрудники отделения геофизики О. В. Мурзин, Н. Г. Лященко, М. И. Карпунин, А. А. Белая, С. В. Барсуков под общим руководством заместителя генерального директора СНИИГГиМС д. т. н. Г. М. Тригубовича.

В 2013–2015 гг. СНИИГГиМС принимал участие в поисковых работах на золото-серебро-полиметаллическое оруденение в пределах Змеиногорско-Березовогорской площади в Змеиногорском рудном районе (Алтайский край) по договору с ЦНИГРИ. В результате подготовлены геолого-геофизические поисковые основы Змеиногорско-Березовогорской площади и отдельных участков (Березовогорского, Кандидатского, Петровско-Карамышевского). Выделено шесть перспективных участков (Центрально-Березовогорский, Восточно-Майский, Головинско-Ганьковский, Привет, Карамышевский и Бал-



даковский), даны рекомендации по проведению поискового бурения в их пределах. По результатам бурения на четырех участках выявлено значимое золото-серебросодержащее полиметаллическое оруденение, оценены его прогнозные ресурсы, значительно превысившие проектные показатели. В этих исследованиях участвовали О. В. Мурзин, Н. Г. Лященко, Н. М. Мурзина, А. А. Белая, И. И. Иванова, М. И. Карпучин.

В 2014 г. сотрудниками ОГМС было подготовлено обоснование на проведение поисковых работ в Салаирской металлогенической зоне с оценкой перспектив колчеданно-полиметаллического с золотом оруденения основных рудных районов и узлов. С 2015 г. в качестве единого поставщика ГРП исследования выполняет АО «Росгеология», при этом

отдел геологии ТПИ (с 2017 г. – департамент ТПИ) СНИИГГиМС на субподрядной основе осуществляет полевые (за исключением горных и буровых работ), камеральные и лабораторные исследования. Целевое назначение работ – локализация перспективных площадей с колчеданно-полиметаллическим с золотом оруденением, находящихся в скрытом и перекрытом залегании, а также оценка прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_3 меди, свинца, цинка и золота. Работы завершаются в IV квартале 2017 г. В результате будет подготовлен комплект карт закономерностей и прогноза месторождений колчеданно-полиметаллической минералогической зоны м-ба 1:200 000 с картами-врезками м-бов 1:50 000–1:10 000. Будут локализованы перспективные площади ранга рудных районов и рудных полей и оце-

Рис. 1. Обзорная карта работ департамента (отделения) ТПИ АО «СНИИГГиМС» за 2007–2017 гг.

I – поисковые работы на *цветные металлы*, в том числе: 3 – поисковые работы с оценкой перспектив колчеданно-полиметаллического с золотом оруденения основных рудных районов и узлов Салаирской металлогенической зоны», 2015–2017 гг.; 4 – опережающие геолого-геофизические работы для обоснования переоценки перспектив полиметаллического оруденения Рудного Алтая (Алтайский край) с целью разработки основы для создания ведущего в Российской Федерации центра по добыче свинца и цинка, 2009–2012 гг.; 5 – поисковые работы на золото-серебро-полиметаллическое оруденение в пределах Змеиногорско-Березовогорской площади в Змеиногорском рудном районе (Алтайский край), 2013–2015 гг.; II – поисковые работы на *золотое оруденение*, в том числе: 6 – научно-методическое сопровождение работ по геологическому изучению, включающему поиски и оценку рудного золота в пределах Еловского участка (Новосибирская область), 2011–2013 гг.; 7 – поисковые работы по выявлению золоторудных полей в метасоматитах Шерегешевской площади Горной Шории (Кемеровская область), 2007–2012 гг.; 8 – геохимические поиски аномальных зон, изучение минерального состава руд, метасоматитов и вмещающих пород с разработкой направления заверочных работ на Ортон-Федоровской площади, 2012–2014 гг.; 9 – поисковые работы на рудное золото на Деспенской площади (Республика Тыва), 2012–2014 гг.; 10 – поисковые работы на коренное золотое оруденение на Ургайлыгской площади (Республика Тыва), 2015–2017 гг.; III – поисковые работы на *алмазы*, в том числе: 13 – ревизионно-поисковые работы на алмазы в пределах юго-западной части Сибирской платформы (Тычано-Кординская площадь, Красноярский край, 2012–2014 гг.; 14 – опережающие геолого-геофизические работы с целью определения перспектив на алмазы в пределах Илимско-Катангского алмазоносного района Иркутской области, 2015–2017 гг.; 16–19 – локализация невыявленных коренных источников алмазов Сибирской платформы (участки: 16 – Южно-Анабарский, 17 – Мунский, 18 – Оттогский, 19 – Триасовый), 2010–2012 гг.; IV – *региональные геолого-съёмочные* работы, в том числе: 1 – составление и подготовка к изданию ГК м-ба 1:200 000 листов Р-44-XX, XXI, XXVI, XXVII (Ларьякская площадь), 2012–2014 гг.; 2 – составление Госгеолкарты 1000/3 пределах листа N-44 (Новосибирск), 2010–2014 гг.; 11 – ГДП-200 листа М-46-Х (Хову-Аксы), 2014–2018 гг.; 12 – выполнение геолого-съёмочных работ подготовительного периода в пределах листа М-46-ХI (Бай-Хаак), 2017–2018 гг.; 15 – составление Госгеолкарты 1000/3 пределах листа Q-49 (Удачный)

нены их прогнозные ресурсы. Полученные к настоящему времени результаты позволяют утверждать, что геологическое задание будет выполнено в полном объеме. Работы выполняют сотрудники Салаиро-Алтайской партии отдела геологии ТПИ О. В. Мурзин, Н. Г. Исыпов, Н. А. Бакшеев, А. Е. Аввакумов, В. С. Сенкевич, Н. М. Мурзина, А. А. Стамберский и др.

Алмазы

Лаборатория геологии алмазов (с мая 2017 г. – отдел) была организована в институте в 2009 г., начальником отдела стал С. Г. Мишенин. Большинство сотрудников в разное время перешли из предприятий АК «АЛРОСА», имея значительный опыт производства алмазопроисковых работ. Уже с 2010 г. подразделение начало принимать активное участие в выполнении алмазопроисковых работ по заказу Роснедра в Сибирской алмазоносной провинции.

В 2010–2012 гг. совместно с институтом геологии и минералогии СО РАН выполнялись работы по локализации невыявленных коренных источников алмазов Сибирской платформы. В рамках этого проекта в Республике Саха (Якутия) выполнен комплекс полевых поисково-ревизионных шлихоминералогических и специализированных работ на Мунском, Южно-Анабарском, Оттохском, Триасовом участках. В результате обработки полученных данных на Мунском участке выявлена Далдыканская площадь с перспективами на коренную алмазоносность, а в ее пределах – локальный участок (Усть-Улах-Муна), перспективный на выявление неизвестного кластера (куста) продуктивных кимберлитовых тел. Оценены прогнозные ресурсы алмазов категории P_3 и рекомендован рациональный комплекс поисковых работ.

На Оттохском участке по комплексу структурно-тектонических, геофизических и минералогических признаков локализованы две площади, перспективные на обнаружение объектов ранга «кимберлитовое поле», – Хачанская и Оттохская. Их прогнозные ресурсы по категории P_3 оценены в 88,6 млн карат. Прогнозные ресурсы россыпной алмазоносности Оттохской площади оценены в 3,25 млн карат, выявлены новые перспективные участки накопления алмазов в аллювии современных водотоков.

В 2012–2014 гг. в ходе совместных с АО «Красноярскгеолсъёмка» ревизионно-поисковых работ на алмазы в пределах юго-западной части Сибирской платформы (Тарыдакская площадь) были проведены прогнозно-минерагенические работы на коренные месторождения алмазов на Тычано-Кординской площади. С учетом современных методических требований созданы карта алмазоносности Тычано-Кординской площади м-ба 1: 200 000 и легенда к ней. В результате выделены три перспективных участка ранга «кимберлитовое поле» (Бирайское, Шушукское и Мирюга-Тарыдакское). Суммарный потенциал прогнозируемых алмазоносных полей оценен по категории P_3 в 253 млн карат. Рекомендован комплекс геолого-геофизических работ предварительной стадии поисков для Мирюга-Тарыдакского прогнозируемого кимберлитового поля, что должно обеспечить выявление участков ранга «куст кимберлитовых тел» и вскрытие кимберлитовых тел среднепалеозойского возраста.

С 2015 г. отдел ведет опережающие геолого-геофизические работы на алмазы в Илимско-Катангском алмазоносном районе Иркутской области. Полученные в настоящее время данные позволяют утверждать, что будут локализованы площади для постановки поисковых работ, оценены прогнозные



ресурсы алмазов, а геологическое задание будет выполнено в полном объеме.

Сотрудниками отдела геологии алмаза приобретен уникальный опыт производства алмазописковых работ во всех регионах Сибирской платформы, сформированы новые подходы к решению задач по локализации кимберлитового магматизма и ряда других вопросов прогнозно-минерагенических исследований, в том числе:

- предложен новый адаптивный подход к организации, методике, составу и техническому обеспечению комплекса полевых шлихоминералогических работ с учетом реальных поисковых обстановок, позволяющий значительно увеличить информативность шлихового опробования;

- активное внедрение средств механизации на всех стадиях полевых шлихоминералогических и опробовательских работ позволило существенно увеличить производительность и объемы опробования, выполняемые полевыми отрядами, и эффективно опробовать разные типы современных и древних коллекторов индикаторных минералов кимберлитов;

- опробованы и внедрены современные технологии селективного извлечения целевых минералов из концентратов шлиховых проб, в том числе большеобъемных;

- разработан комплекс программ для обработки больших информационных массивов цифровых геофизических и пространственных данных, основанный на использовании систем линейных аналитических уравнений (СЛАУ);

- реализован алгоритм безэталонного таксономического районирования разнородных геолого-геофизических данных, позволяющий проводить локализацию объектов ранга кимберлитовое поле.

Государственное геологическое картирование м-бов 1:200 000, 1:1 000 000 и специализированное картирование

В 2007–2016 гг. эти работы выполнялись в отделе региональной геологии, а с 2012 г. – в отделе геологического картирования и прикладной геоморфологии под руководством Г. А. Бабина. При подготовке комплектов мелко- и среднемасштабных государственных карт (Госгеолкарта-200/2 и Госгеолкарта-1000/3) широко использовались ГИС-технологии, а для решения геологических и металлогенических задач применялись современные прецизионные изотопно-геохимические методы. Работы проводились в пределах горноскладчатых и платформенных регионов Западной и Восточной Сибири.

В 2012 г. в институте завершено совершенствование легенды Алтае-Саянской серии листов Госгеолкарты-1000/3. В 2009–2012 гг. Г. А. Бабиным, А. Г. Головиной, М. В. Михаревич, Т. В. Кораблевой велись работы по созданию сводной схемы структурно-геологического районирования м-ба 1:2 500 000 юга Сибири и Дальнего Востока –

основы для увязки и корреляции пяти серийных легенд Госгеолкарты-1000/3 по южному складчатому обрамлению Сибирской платформы.

В 2010–2014 гг. составлен, успешно прошел апробацию в Научно-редакционном совете (НРС) Роснедра и в 2016 г. издан комплект Государственной геологической карты м-ба 1:1 000 000 листа N-44 (Новосибирск) (граница Алтае-Саянской складчатой области и Западно-Сибирской мезозойско-кайнозойской плиты). Среди основных исполнителей – Г. А. Бабин, А. И. Черных, А. Г. Головина, С. В. Жигалов, Е. В. Ветров, Т. В. Кораблева, Н. А. Светлова, Е. А. Пихутин, Н. А. Бодина и др., редактор комплекта д. г.- м. н. В. С. Волков.

Комплект включает карты дочетвертичных, четвертичных и доюрских образований, полезных ископаемых, закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых, сопровождающую базу данных и объяснительную записку с текстовыми приложениями. Для стратиграфических построений по чехлу Западно-Сибирской плиты использованы данные 600 буровых скважин, вскрывших разрезы мезозойских и кайнозойских отложений. Карта доюрских образований учитывает результаты бурения более 300 скважин, пройденных до фундамента плиты. Современную изотопно-геохимическую и геохронологическую характеристики получили все магматические комплексы Колывань-Томской складчатой системы и Северо-Западного Салаира. Установлены их взаимоотношения, последовательность внедрения и изотопные возрасты. Впервые выделена раннекарбонная ассоциация щелочных сиенитов и габбродолеритов, для которой предполагается рифтогенное происхождение. Обоснована принадлежность позднепалеозойско-раннемезозойских гранитоидных и базитовых интрузивных пород к внутриплитным обстановкам, их связь с эволюцией Сибирского суперплюма. В результате расширены перспективы эпитептермального золото-сульфидного оруденения в регионе, выделен Легостаевский золоторудный узел и апробированы прогнозные ресурсы золота категории P_3 69 т.

В 2017 г. под руководством Л. И. Сметанниковой завершаются работы по созданию авторского варианта другого комплекта Госгеолкарты-1000/3 – листа Q-49 (Удачный), охватывающего основные алмазоносные районы Сибирской платформы. В 2018–2019 гг. планируется его подготовка к изданию. Одновременно составлено обоснование на проведение работ в 2018–2022 гг. по созданию Государственной карты м-ба 1:1 000 000 на смежную территорию листа Q-50.

В 2013 г. Г. А. Бабиным и А. И. Черных была разработана и согласована с Тыванедра «Программа работ по геологическому доизучению м-ба 1:200 000 (ГДП-200) в Республике Тыва», целью которой является обеспечение плановости и максимальной эффективности регионального изучения территории. По результатам комплексного геолого-метал-



логического анализа намечены приоритетные направления исследований и ключевые площадки концентрации работ, выделено семь групп листов и определена последовательность ввода в работу планшета Госгеолкарты-200/2.

В рамках реализации намеченной программы в 2014–2016 гг. проведено ГДП-200 и подготовлен авторский вариант Госгеолкарты-200/2 листа М-46-Х (Хову-Аксы) в центральной части Тывы (Е. В. Ветров, А. И. Черных, А. Н. Уваров, Г. А. Бабин, М. В. Михаревич, Е. А. Пихутин, Е. С. Андреева, Н. А. Бодина, Е. А. Баженова). В результате детальных изотопно-геохимических и геохронологических исследований установлен полихронный и полиформационный характер раннепалеозойских интрузий, широко распространенных на территории планшета. Впервые в районе выделены и всесторонне охарактеризованы раннекембрийские плагиогранитоиды, обоснована их связь с нижнекембрийскими островодужными образованиями Тывы и корреляция с аналогичными по составу, возрасту и тектоническому содержанию плагиогранитами майнского комплекса Западного Саяна. Исчерпывающие петрографические и изотопно-геохимические характеристики получили все другие магматические комплексы. Возраст интрузий надежно обоснован изотопным датированием. Важным результатом является обнаружение на площади листа вулканических проявлений ордовикского возраста, весьма редких для Алтае-Саянской области.

В совокупности новые данные, полученные в ходе работ, позволяют существенно уточнить схему магматизма, модель тектонической эволюции и обоснованность металлогенического прогноза. В частности, значительно расширены перспективы территории в отношении золотого оруденения золотокварцевой и колчеданно-полиметаллической (с золотом) формаций, выделены четыре новые перспективные площади, по двум из которых (Аптаринский и Ирбитейский прогнозируемые рудные узлы) апробированы прогнозные ресурсы золота категории P_3 (более 200 т), а также меди, свинца и цинка. Кроме того, на территории листа установлены признаки золото-медно-порфирирового оруденения.

С 2017 г. ведутся работы по подготовке материалов комплекта к изданию в качестве государственной карты. В 2014 г. А. И. Черных и Е. В. Ветровым подготовлено обоснование постановки работ по геологическому доизучению м-ба 1:200 000 (подготовительный этап) смежной к востоку территории листа М-46-ХI, на которую прослеживаются главные рудоносные структуры района. Работы начаты в 2017 г.

В 2012–2014 гг. коллективом в составе В. И. Тихоненко, Л. И. Сметанниковой, В. Н. Филипчука, В. В. Сапьяника, Ю. Л. Зайцевой, О. А. Эйхлер, Е. К. Баженовой при участии Ю. И. Лоскутова, Е. А. Мункуевой, А. Ю. Туркина, М. В. Михаревич, Т. В. Кора-

блевой подготовлены комплекты государственных геологических карт м-ба 1:200000 листов Р-55-XX, XXI, XXVI, XXVII (Ларьякская площадь). Ранее государственной карты такого масштаба для этой территории не было. Основной объект изучения – Западно-Сибирская мезозойско-кайнозойская плита. При составлении комплектов использованы данные по структурным и поисково-разведочным скважинам, результаты обобщающих работ по геологии и нефтегазоносности региона, геофизическая и дистанционная основы, результаты собственных полевых наблюдений и аналитических исследований. Комплекты каждого из листов включают карты четвертичных, дочетвертичных и доюрских образований, полезных ископаемых и закономерностей их размещения, объяснительную записку, сопровождающую базу данных и цифровую модель комплекта. Материалы комплектов в 2014 г. успешно прошли апробацию НРС Роснедра и рекомендованы к изданию.

При СНИИГГиМС действует одно из структурных подразделений Научно-редакционного совета Роснедра – Западно-Сибирский региональный экспертный совет, руководитель которого д. г.- м. н. В. С. Старосельцев, ученым секретарем долгое время был В. М. Исаков. В работе НРС активное участие принимали Г. А. Бабин, А. И. Черных, О. В. Мурзин, Г. Н. Черкасов, В. В. Жабин, Ю. И. Лоскутов.

Отделение геологии минерального сырья смогло преодолеть кризис 1990–2000-х гг. и к 2016 г. стало одним из наиболее эффективных подразделений института. Это стало возможным благодаря решению нескольких ключевых задач по обеспечению кадрами, увеличению финансирования, освоению современного оборудования и техники, расширению направлений деятельности и развертывание полноценных полевых работ.

Главным результатом работ отделения в 2007–2016 гг. стало создание коллектива, который способен решать самые сложные геологические задачи (рис. 2). В 2007 г. в отделах геологии твердых полезных ископаемых и региональной геологии доля сотрудников в возрасте до 34 лет составляла около 20%, при этом они выполняли преимущественно техническую работу по компьютерной обработке материалов. Ситуация изменилась в 2009–2010 гг., а в 2016 г. количество молодых сотрудников возросло до 50%. Важно, что им доверяли самостоятельную геологическую работу, они руководили полевыми работами, готовили отдельные разделы отчетов, отвечали за создание баз данных и цифровых моделей государственных карт (Е. А. Баженова, П. Н. Дмитриева, О. А. Эйхлер), становились ответственными исполнителями по проектам (А. Ю. Широбоков, к. г.- м. н. Е. В. Ветров, В. С. Сенкевич).

В январе 2016 г. в отделении работало 46 человек, из которых около 80% имели высшее профильное образование. Средний возраст персонала составлял около 42 лет. Большинство молодых



Рис. 2. Сотрудники отделения геологии минерального сырья, февраль 2016 г.

Слева направо: сидят О. В. Мурзин, Н. М. Мурзина, Н. А. Светлова, А. И. Черных, А. Н. Уваров, Е. С. Андреева, Л. И. Сметанникова; стоят В. И. Притчина, М. А. Шеин, Е. А. Баженова, В. В. Меркулов, П. В. Суров, А. Ю. Туркин, Н. А. Бодина, А. Б. Лобанов, Е. А. Пихутин, Н. А. Бакшеев, Е. А. Мункуева, Н. В. Беляев, В. И. Тихоненко, О. А. Эйхлер, М. В. Решетникова, Г. З. Яворская, И. А. Сафонов, Л. И. Гесс, А. И. Дак, Ю. Т. Яныгин, Ю. В. Утюпин, С. Г. Мишенин, Е. В. Ветров, Е. А. Лакутин, А. Ю. Широбоков, А. С. Титов, М. И. Гавриленко, А. Б. Шепель

сотрудников со среднетехническим образованием повышали свою квалификацию и заочно обучались в высших учебных заведениях.

В связи с расширением работ по научно-методическому сопровождению ГРП, проведению поисковых и опережающих геолого-геофизических работ в отделении увеличилась доля специалистов с производственным опытом. Соблюдение баланса между энергией молодых сотрудников, глубокими знаниями и пониманием специфики производственных и научно-исследовательских работ опытных специалистов обеспечило успешное решение поставленных задач.

СНИИГГиМС к 2007 г. был лидером в исследованиях по нефтяной тематике в Сибири, принимал активное участие в определении направлений исследований, а также в проведении геолого-разведочных и тематических работ в этой области. В то же время его деятельность в области твердых полезных ископаемых и региональных исследований по разным причинам была ограничена. В результате огромных усилий руководства института и ОГМС по налаживанию взаимодействия с Роснедра и его подразделениями (Сибнедра, Центрсибнедра, Тыванедр, Алтайнедр, Кузбасснедр, Иркутскнедр), профильными НИИ (ЦНИГРИ, ИМГРЭ, ВСЕГЕИ) нашему институту удалось встроиться в работу по воспроизводству минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых

С 2009 г. резко возрос объем научно-производственных работ. При этом руководство отделе-

ния всегда понимало всю важность прикладных научных исследований, которые часто определяют высокую эффективность и качество решения задач, обеспечивают определенное конкурентное преимущество перед производственными организациями при выполнении ГРП.

Важным шагом в преобразовании отделения геологии минерального сырья стало резкое увеличение объемов полевых работ, расширение географии их проведения и внедрения в практику новых видов работ. Развертывание полевых работ, наряду с решением задач по договорам, обеспечило повышение квалификации молодых сотрудников, ведь именно в полевых условиях молодые специалисты становятся геологами. Большая часть полевых работ была направлена на заверку прогнозных построений самих сотрудников отдела геологии ТПИ, а это дополнительная мера ответственности.

В полевых работах отделов геологии ТПИ и региональной геологии в 2008 г. принимали участие 23 человека, в 2013 г. – 74, а в 2015 г. – уже 95, что составляло около 66% от количества всех сотрудников института, задействованных на полевых работах. На молодежь отделения легла основная нагрузка по выполнению полевых работ, многие из них стали начальниками отрядов (Н. В. Беляев, А. О. Лакутин, Е. О. Лакутин, В. В. Меркулов, Е. А. Пихутин, В. И. Притчина, В. С. Сенкевич, П. В. Суров, А. С. Смольникова, А. А. Стамберский). Помогали им и обучали их опытные специалисты (Н. А. Бакшеев, М. В. Виктор, А. И. Дак, С. В. Жигалов, Н. Г. Исы-



пов, В. А. Кривчиков, О. В. Мурзин, В. И. Тихоненко, И. В. Шаламов, А. Б. Шепель и др.).

В 2013 г. в институте была создана полевая комиссия, председателем которой был генеральный директор А. С. Ефимов, а заместителем и секретарем сотрудники ОГМС – замдиректора А. И. Черных и Н. А. Светлова. Резкое увеличение объемов полевых работ в отделении в 2009–2016 гг. и их успешное выполнение определило широкое представительство его сотрудников среди экспертов полевой комиссии. В течение 2013–2016 гг. полевые работы отрядов отделения получали преимущественно отличные оценки.

Решение новых задач потребовало освоение новых видов работ – бурение шнековых и поисковых скважин, внедрение в практику горных, в том числе механизированных, работ, расширение объемов и видов опробования (бороздвое, керновое, литохимическое); широкое использование современных прецизионных методов лабораторных работ ICP AES и MS, изотопно-геохронологических и изотопно-геохимических; внедрение в практику использования ГИС технологий для картосоставительских работ.

Важная составляющая успешной работы отделения – его обеспеченность современными приборами и оборудованием. В 2009–2015 гг. были приобретены и активно использовались для производства шлихоминералогических работ на золото и алмазы отсадочные машины, минидраги, центробежный концентратор; для минералогопетрографических исследований – современные микроскопы, в том числе производства компаний Leica и Zeiss; для геохимических работ – портативный анализатор X-Ray.

Для заверки прогнозных построений и внедрения в практику работ глубинных геохимических поисков были приобретены и в короткие сроки освоены мотобуры КМ-10М, мобильная буровая установка УКБ-12/25И и буровая установка ББУ-001 «Опенк».

Отдельные усилия были предприняты для обоснования необходимости обновления автомобильного транспорта института. По инициативе руководства ОГМС приобретены и эксплуатировались на полевых работах автомобили «Урал», «КамАЗ», «Егерь», «УАЗ». Эффективным решением дирекции института стало приобретение квадроциклов, использование которых значительно повысило эффективность полевых работ.

Сотрудникам лаборатории инструментальных методов анализа во главе с заведующей к. г.-м. н. Л. И. Исаковой удалось за 2011–2014 гг. на порядок увеличить объем работ по спектральному, атомно-абсорбционному и шлихоминералогическому анализам, во многом благодаря наращиванию объемов геохимического опробования при выполнении работ в отделе геологии ТПИ.

Со второй половины 2016 г. начался новый этап деятельности ОГМС. Приход в качестве единственного поставщика услуг в области геолого-разведочных работ АО «Росгеология» и переход института в статус акционерного общества не мог не сказаться на деятельности института и отделения, которое в мае 2017 г. реорганизовано в департамент ТПИ (директор О. В. Мурзин). Однако хочется надеяться, что коллектив отделения геологии минерального сырья, который на деле доказал, что может решать самые сложные геологические задачи, будет востребован как единственным поставщиком, так и другими организациями.

В канун юбилея хочется от души поблагодарить тех сотрудников института, кто поверил в возможность создания сильного отделения геологии минерального сырья и всячески содействовал его работе на протяжении последних 10 лет – начальника центра обработки сейсмических данных, а в настоящее время исполнительного директора АО «СНИИГГиМС» М. Ю. Смирнова, генерального директора ФГУП «СНИИГГиМС» А. С. Ефимова, начальника финансово-экономического отдела Д. И. Шипиленко и его заместителя Н. М. Новикову, замдиректора С. В. Фоменко, ученого секретаря С. П. Зайцева. Особые слова благодарности хотелось бы сказать в адрес безвременно ушедшего от нас В. М. Евтушенко, который был одним из инициаторов изменений в ОГМС и постоянно оказывал ему помощь и поддержку.

Самая главная ценность института, неизмеримо более значимая, чем золото, алмазы и любые другие полезные ископаемые, – его люди. Как свидетельствуют результаты работ ОГМС, в последние 10 лет в нем сформировался работоспособный коллектив, в котором удачное сочетание опытных специалистов и молодых сотрудников обеспечивает успешную реализацию самых разных геологических проектов. И бывшее, и сегодняшнее руководство отделения благодарно всем сотрудникам за их труд и надеется, что несмотря ни на какие трудности их ждет интересная, творческая и востребованная работа.



УДК (553.54+553.492.1):551.72(571.51/.52)

ВЫСОКОГЛИНОЗЕМИСТЫЕ ФОРМАЦИИ ДОКЕМБРИЯ СРЕДНЕЙ СИБИРИ И ПЕРСПЕКТИВЫ БОКСИТОНОСНОСТИ

В. В. Жабин

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

Предложен возможный механизм образования высокоглиноземистых формаций и бокситов в разрезах докембрия Средней Сибири в пределах четырех возрастных эпох (условно: архейской, ранне-рипейской, средневерхнерипейской и вендской). Формации различаются как по продолжительности формирования, так и по продуктивности. Высокоглиноземистые породы выделяемых формаций рассматриваются как производные коры химического выветривания, многократно развивавшейся с позднего архея, на подвижных древних щитах и платформах различных континентов.

Ключевые слова: докембрий Средней Сибири, возрастные эпохи, высокоглиноземистые формации, кора химического выветривания, бокситы, корундиты, высокоглиноземистые кристаллические сланцы.

HIGH ALUMINA PRE-CAMBRIAN FORMATIONS OF MIDDLE SIBERIA

V. V. Zhabin

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

The paper discusses a possible mechanism of evolution of high alumina formations in the pre-Cambrian of Middle Siberia during four age epochs (provisionally: Archean, Early Riphean, Middle-Upper Riphean, Vendian). The formations have different evolution periods and productivity. The high alumina rocks within the identified formations are considered to have derived from the crust of chemical weathering that had occurred several times since the Late Archean time at the activated ancient shields and platforms of different continents.

Keywords: pre-Cambrian of Middle Siberia, age epochs, high alumina formations, chemical weathering crust, bauxites, corundites, high alumina crystalline shales.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6c-102-109

Под высокоглиноземистой формацией мы, вслед за Н. С. Шатским [17], понимаем геологическую формацию, в парагенетических ассоциациях которой находятся высокоглиноземистые образования, представленные бокситами, аллитами, глинами или их метаморфическими аналогами.

Более конкретное определение высокоглиноземистой формации было предложено В. К. Головенком еще в 1977 г. [4]. По его данным, высокоглиноземистые формации должны содержать не менее 25 % глинозема, 3–5 % щелочей и кремниевый модуль 0,5 и выше. Конечно, это определение значительно сужает географию распространения подобных формаций и, соответственно, площади поисков, что представляет определенный экономический интерес. Но в то же время высокоглиноземистые формации более сложного строения могут не попасть в сферу изучения, поскольку их формирование связано с размывом коры химического выветривания, которая может развиваться на породах различного состава, например, по гранитам, содержащим от 65 до 75 % кремнезема (SiO_2), который в основном входит в состав ортоклаза, кислого плагиоклаза и кварца, составляющего 25–30 % породы.

Во время химического выветривания щелочи выносятся. Какая-то часть растворенного кремния, соединяясь с глиноземом, образует глинистые минералы или стяжения кремния, а кварцевые зерна переносятся водными потоками, формируя пласты

кварцевых песчаников в разрезе высокоглиноземистых формаций. К тому же многие месторождения бокситов карстового типа располагаются в карстовых полостях карбонатных пород, визуальнo образуя с ними единое целое. Поэтому в ряде случаев в состав высокоглиноземистых формаций включают и подстилающие карбонатные отложения, хотя это и не согласуется с приведенным ранее определением [4].

В Средней Сибири среди докембрийских отложений, развитых в районах щитов или выступов древних платформ, на различных возрастных уровнях известны высокоглиноземистые образования (силлиманитовые, кианитовые и андалузитовые кристаллические сланцы, реже наждаки и корундовые породы), представляющие собой метаморфизованные продукты коры химического выветривания. В ряде случаев они слагают мощные толщи, прослеживающиеся на сотни километров, или же отдельные пласты и небольшие линзы в метаморфических комплексах Центральной Индии, Южной Африки, Америки, Австралии, Сибири и др. (рис. 1).

Обобщение и анализ имеющихся материалов по высокоглиноземистым формациям докембрия мира (см. рис. 1) отражены в докторской диссертации В. М. Чайки [16], в которой он пришел к выводу, что все высокоглиноземистые образования в метаморфических комплексах, перекрывающих древнейшие платформы, являются метаморфизованными

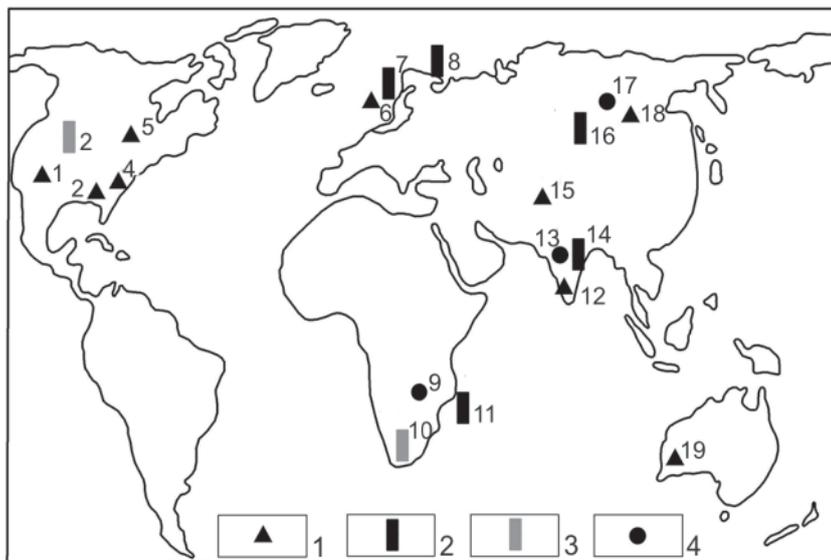


Рис. 1. Схема размещения некоторых проявлений Докембрийских высокоглиноземистых образований Мира (по В. В. Жабин, 1983)

Проявления: 1 – корундовые (США: 1 – Колорадо, 3 – Джорджия, 4 – Каролина, 5 – Массачусетс; 6 – Арендаль, Южная Норвегия; 12 – Бомбей, Индия; 15 – Юго-Западный Памир, СССР; 18 – Алданский щит, СССР; 19 – Пайнтер, Австралия); 2 – силлиманитовые (7 – Швеция; 8 – Кольский полуостров, СССР; 11 – Мадагаскар; 14 – Восточные Гаты, Индия; 16 – Китойское, Восточный Саян, Россия); 3 – силлиманит-диаспоровые (2 – Западная Монтана, США; 10 – Намакваленд, ЮАР); 4 – диаспоровые (9 – свита Модис, Зимбабве; 13 – Бунделькханд, Индия; 17 – Патомское нагорье, Сибирь, СССР)

ми продуктами коры выветривания каолинитового или каолинит-латеритного типов. По его мнению, образование силлиманитовых и силлиманит-дистеновых пород происходило за счет метаморфизма каолинитовых глин, в то время как корунды развивались только по породам, обогащенным свободным глиноземом. И далее, рассматривая высокоглиноземистые формации как производные процесса химического выветривания, следует полагать, что он мог создавать и формационные комплексы, их включающие.

Изучение древнейших отложений Сибири с целью поисков глиноземного сырья началось с находки Д. С. Коржинским в 1929 г. обломков корундитов в поле развития архейских метаморфических пород Алданского щита, которые он рассматривал как продукты метаморфизма высокоглиноземистых осадочных пород, возможно бокситов [8].

Обнаружение бокситов Боксонского месторождения в Восточных Саянах, залегающих среди докембрийских карбонатных пород придало целенаправленность изучению древнейших отложений на это сырье.

Научное обоснование необходимости изучения карбонатных толщ сформулировано Ю. К. Горечким в 1948 г. [5]. Оно послужило своего рода программой для дальнейших работ по оценке перспектив бокситоносности, в том числе и докембрийских отложений Сибири и Дальнего Востока.

В геологических разрезах докембрия Сибири во всех наиболее крупных тектонических структурах прослеживаются четыре возрастных интервала – 3000–2600, 1600–1450, 1100–700, 650–570 млн лет (рис. 2, 3), в пределах которых процессы химического выветривания в определенные тектоноклиматические этапы завершались образованием коры химического выветривания и формированием высокоглиноземистых формаций (условно – архейская, раннерифейская, среднепозднерифейская и вендская). Эти формации в зависимости от степени метаморфических преобразований характеризуются

месторождениями и проявлениями диаспоровых бокситов, аллитов, корундитов, высокоглиноземистых кристаллических сланцев и гнейсов.

В Средней Сибири зафиксированы многочисленные проявления продуктов докембрийских кор выветривания, но мы приведем только наиболее яркие примеры, не вызывающие резких возражений.

Архейская (корундоносная) формация выделена исходя из наличия в составе архейских толщ месторождений и проявлений, которые многими исследователями рассматриваются как метаморфизованные продукты коры химического выветривания, включающие бокситы и аллиты [1, 8–13, 15, 16, 22, 23 и др.]. Однако месторождения и проявления высокоглиноземистых кристаллических пород в Сибири часто не имеют строгих возрастных датировок. При слабой коррелятивности метаморфических комплексов это весьма затрудняет их стратификацию.

К указанной формации могут быть отнесены силлиманитовые гнейсы Китойского месторождения Восточных Саян [1].

С корой выветривания такого же типа Д. П. Сердюченко [12] связывает железорудные и высокоглиноземистые образования Южной Якутии, где зафиксированы протяженные пласты и линзовидные тела силлиманитовых гнейсов и кристаллических сланцев в ассоциации с силлиманитовыми кварцитами.

На Алданском щите в бассейне р. Иенгра в верхнетимптонской серии архейского возраста содержатся линзовидные тела корундовых и кианитовых пород (Чайнытское и Джилиндинское месторождения). Некоторые исследователи считают их метаморфическими аналогами бокситов.

Метаморфизованные продукты коры выветривания каолинитового и гидрослюдистого типов в Сибири распространены широко и фиксируются в виде высокоглиноземистых кристаллических сланцев и гнейсов в Анабарском щите, Байкальском нагорье, в Алтае-Саянской складчатой области, на Таймыре, и Енисейском кряже.



Возраст, млн лет	Коры выветривания	Полезные ископаемые	Бокситоносные формации	Районы распространения формации кор выветривания	Месторождения и проявления бокситов, аллитов, диаспорилов, корундитов
570±30		● ■ ◇ □ ●	Раннекембрийская	Восточный Саян, Горная Шория, Кузнецкий Алатау, Горный Алтай, Салаир, Забайкалье	Проявления: Ульменское и Капшанское (Горный Алтай), Хужиртайское (Восточный Саян), Семеновское (Кузнецкий Алатау), Гришихинское (Салаир), Кизасское (Горная Шория)
		● ■ ◇ □ ●	Вендская	Восточный Саян, Горная Шория, Кузнецкий Алатау, Учуро-Майский регион, Сетте-Дабан, Енисейский край, Анабарский щит, Таймыр, Присяяне, Байкало-Патомская складчатая область	Бокситовое месторождение, Козыревское и Ухогольское проявления бемит-диаспоровых бокситов (Восточный Саян)
650±50		● ○ □	Верхне-среднерифейская	Енисейский край, Туруханское поднятие, Западное Присяяне, Западное Прибайкалье, Учуро-Майский регион	
	1000	● ○		Туруханское поднятие, Енисейский край, Присяяне, Учуро-Майский регион, Восточный Саян	
R ₂		● ■ ◇ □ ●	Раннерифейская	Енисейский край, Туруханское поднятие, Байкало-Патомская складчатая область, Учуро-Майский регион, Сетте-Дабан	Проявления гибсит-бемитовых бокситов: Леспромхозное (хлоритид-шпинелевые породы), Остыгольское (хлоритидные породы с корундом и диаспором), Кийское (корунд-содержащие сланцы), Алгуйское (корунд-маргарит-хлоритид-магнетитовые породы)
	1350±50	● ○ □		Енисейский край, Туруханское и Чадобецкое поднятия, Байкало-Патомская складчатая область, Учуро-Майский регион	
R ₁		● ○	Раннерифейская	Енисейский край, Чадобецкое поднятие	
	1650±50	● ■ ◇ □ ●		Патомское нагорье, Прибайкалье, Восточный Саян, Учуро-Майский регион, Анабарский щит	Пурлольские проявления диаспорилов (Патомское нагорье)
1850±100		● ■ ◇ □ ●	Раннерифейская		
2600±100		● ○ □		Алданский щит, Восточный Саян, Байкальское нагорье, Северо-Западное Прибайкалье, Байкальское нагорье, Западное Прибайкалье, Витимская горная страна, Хамар-Дабан	
2800		● ○ □	Архейская	Восточный Саян, Прибайкалье	
	>3500	● ○ □		Алданский и Анабарский щиты, Восточный Саян, Хамар-Дабан, Енисейский край, Становой хребет, Таймыр	Чайнытское и Джилдинское месторождения корундитов (Алданский щит)

Рис. 2. Размещение формаций кор выветривания и полезные ископаемые в докембрии Сибири (по В. В. Жабину, 1978)
 Коры химического выветривания: 1 – преимущественно латеритного типа, 2 – преимущественно смалитного типа, 3 – высокометаморфизованные; основные полезные ископаемые: 4 – бокситы и их метаморфизованные аналоги, 5 – высокоглиноземистые породы, 6 – руды железа, 7 – руды марганца, 8 – фосфориты, 9 – кварцевые породы и кварциты



Основанием для выделения **раннерифейской формации** послужило наличие значительных скоплений диаспоритов в нижнерифейских отложениях Байкало-Патомского нагорья [4], которые рассматриваются как переотложенные продукты коры выветривания.

Образования коры выветривания этого возраста зафиксированы во многих районах Сибири, однако наиболее полно они сохранились на Анабарском поднятии [10, 13, 15], Витимо-Патомском нагорье [4] и Алданском щите. Вместе с тем в разных районах характер выветривания был различным и не всегда латеритного типа.

Раннерифейская формация (собственно бокситоносная) известна только на Витимо-Патомском нагорье [4], а в остальных районах на ее уровне имеются лишь высокоглиноземистые кристаллические сланцы. Эта формация представлена здесь высокоглиноземистыми породами пурпольской свиты тепторгинской серии нижнего рифея, которые в виде узкой полосы прослеживаются на крыльях Лонгдорского, Тонодского и Чуйского антиклинориев. С подстилающими породами они имеют несогласные контакты.

В типовом разрезе пурпольская свита имеет трехчленное строение. Ее нижняя и верхняя части сложены кварцевыми песчаниками и гравелитами с горизонтами конгломератов на железисто-глинистом цементе, а в средней преобладают высокоглиноземистые серицит-пирофиллитовые, серицит-хлоритоидные и дистен-ставролитовые сланцы, среди которых В. К. Головенко и Г. Ю. Пушкин в 1964 г. обнаружили диаспоровые бокситы в виде округлых, слегка уплощенных конкреций, местами составляющих до 50% объема породы. Диаспоровые конкреции вначале были обнаружены лишь на восточном крыле Лонгдорского антиклинория, где они образуют несколько горизонтов среди диаспор-пирофиллитовых сланцев, а затем и во всей пурпольской свите, развитой в Тонодском и Чуйском антиклинориях.

Конкреции на 80–90% сложены диаспором с незначительной примесью лептохлоритов, кварца, рутила, сульфидов, апатита и пирофиллита. Содержание глинозема в них достигает 55–63%, кремнезема 7–10%. Высокие содержания глинозема отмечаются и во вмещающих сланцах (около 31,5%, а в отдельных случаях до 44–47%), а также повышенные содержания двуокиси титана (1,5–2,5%).

Среднепозднерифейская бокситоносная формация представлена органогенными карбонатными отложениями с прослоями и пачками терригенных пород, в которых содержатся аллиты и бокситы [6, 12, 14]. Она широко распространена, но большинство открытых проявлений аллитов и бокситов сосредоточено в западной части Алтае-Саянской складчатой области. По материалам А. Н. Сухариной [14], там она сложена карбонатными, местами органогенными образованиями с маломощными пачками терри-

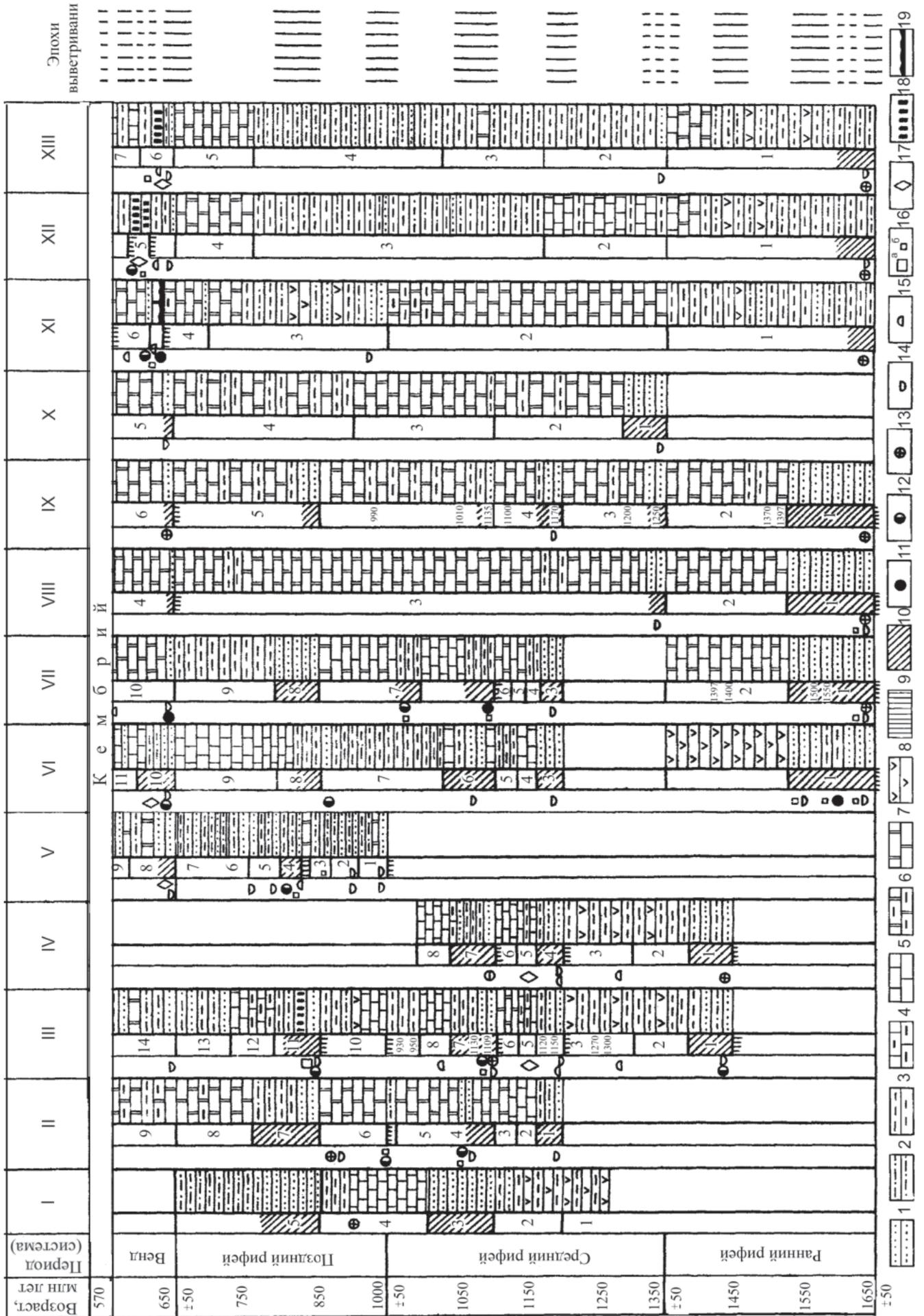
генных пород. Последние обогащены продуктами химического выветривания и, следовательно, могут рассматриваться как потенциально бокситоносные. Несмотря на это в целом формация изучена слабо, что, по-видимому, обусловлено плохой обнаженностью рифейско-кембрийских отложений, скудостью содержащихся в них органических остатков и кажущейся монотонностью карбонатных толщ.

Описываемые отложения составляют нижнюю часть геологического разреза, но из-за нераспознаваемости внутреннего строения формации они часто датируются довольно «растянуто» (PR–R, R–V, R–E), и поэтому только немногие бокситопроявления относятся к среднему – позднему рифею, остальные – к протерозою – рифею или рифею – кембрию.

Сотрудники ПГО «ЗапСибгеология» к этой формации относят восемь проявлений высокоглиноземистых образований, обнаруженных в Горной Шории (Леспромхозное и Остыгольское) и Кузнецком Алатау (Медяньское, Кийское, Мраморное, Алгуйское, Широкологское и Сызакское). Наиболее представительное из них Леспромхозное, открытое В. И. Синяковым в бассейне р. Тельбес среди органогенно-карбонатных отложений западносибирской свиты (R₃). Вмещающие породы интродуцированы габбро-диоритовыми телами и расчленены серией сиенитовых силлов. Продуктивная пачка мощностью 30–150 м представлена послойными телами магнетитовых руд и хлоритоид-шпинелевых пород. В разных сечениях продуктивной пачки обнаружено от двух до четырех тел шпинелевых пород протяженностью 200–500 м, мощностью 1–7 м и более. Породы имеют зеленовато-серый цвет, кристаллическое строение и меняющуюся текстуру: от пятнистой до реликтово-бобовой и сланцеватой. В их составе различаются (%): шпинель (25–49), ксантофиллит (25–30), хлоритоид (от единичных зерен до 40–50), магнетит (8–20), хлорит (5), корунд (1–15), единичные зерна диаспора; в небольших количествах (до 4%) присутствуют доломит и кальцит. При этом диаспор и корунд наблюдаются как реликты, сохранившиеся от замещения шпинелью.

Средний химический состав шпинелевых пород, по данным И. В. Серебрянника и А. Н. Сухариной, следующий (%): SiO₂ 10, Al₂O₃ 36, Fe₂O₃ 8, FeO 3, TiO₂ 0,3, MgO 20, CaO 9, MnO 0,2, S_{0,5}, п. п. 9. На основании этого шпинелевые породы они рассматривают как глубоко метаморфизованные бокситы и аллиты.

Вендская бокситоносная формация выделена в составе верхнерифейско-нижнекембрийских терригенно-карбонатных отложений, довольно широко распространенных в Сибири [3, 5, 6]. Однако ее вычленение из докембрийского разреза во многих районах сопряжено с большими трудностями из-за литологической монотонности карбонатных толщ и отсутствия в них органических остатков. В настоящее время отложения вендской бокситоносной



формации четко обособляются только в юго-восточной части Восточного Саяна. Весьма условно она может быть выделена в Байкальской и Забайкальской складчатых областях, Иркутском амфитеатре, на Таймыре, Анабарском поднятии и в западной части Алтае-Саянской складчатой области.

Во всех указанных регионах высокоглиноземистая формация представлена карбонатными отложениями с отдельными пачками и горизонтами терригенных пород, обогащенных продуктами коры химического выветривания.

К этой формации относятся Боксонское месторождение и несколько проявлений бокситов (Козыреевское, Ондольтоинское и др.), генетически связанных с процессами корообразования.

Боксонское месторождение, открытое Н. С. Ильиной в начале 1950-х гг. [7], расположено в юго-восточной части Восточного Саяна среди докембрийских карбонатных пород боксонской серии. По условиям образования оно является осадочным и стратиграфически локализовано в низах табинзуртинской свиты вендского возраста [2, 3, 5–7]. В его структурном плане выделяются Боксонская моноклиналь и плоскодонная мульда Хорё, разделенные Центральной антиклиналью.

Бокситы залегают на закарстованной поверхности доломитов забитской свиты. С перекрывающими отложениями контакт более ровный, местами с постепенными переходами от зеленых бокситов к зеленым и черным сланцам. По простиранию и падению

рудного пласта местами наблюдается смена бокситов глинистыми сланцами или гематитизированными кварцевыми песчаниками. В пределах месторождения бокситы слагают несколько линзовидных и пластообразных тел, форма и размеры которых определялись морфологией дна бассейна седиментации.

В боксонской моноклинали бокситы слагают единую залежь, имеющую сложное внутреннее строение с многократным переслаиванием руд различного качества.

В мульде Хорё бокситоносная пачка содержит несколько рудных залежей, самостоятельность которых подтверждается их строением, а также текстурными и структурными особенностями бокситов и вмещающих пород.

На месторождении Е. П. Бессолицыным [2] выделены два типа разреза рудного горизонта. Первый, представленный красными и зелеными бокситами, свойственен Боксонской моноклинали. В нем отмечается увеличенная мощность и выдержанное качество руд. В нижней части пласта развиты брекчиевидные бокситы высокого качества с большим содержанием железа. В кровле бокситового горизонта зеленые бокситы с постепенными переходами сменяются глинистыми сланцами и доломитами. Второй тип разреза выделен в мульде Хорё и характеризуется отсутствием зеленых бокситов, слабым развитием брекчиевидных разностей и широким распространением карстовых полостей, заполненных бокситовым материалом. Есть случаи выкли-

Рис. 3. Схема стратификации кор выветривания и продуктов их переотложения в рифейских и вендских отложениях районов Сибири и Дальнего Востока (по В. В. Жабин, 1978)

I – *Игарский район* (с использованием материалов В. Е. Савицкого и др.): 1 – староигарская толща, 2 – лудовская и игарская толщи, 3 – губинская толща, 4 – чернореченская свита, 5 – излучинская свита; II – *Туруханский район* (по Б. М. Келлеру, с дополнениями), свиты: 1 – стрельногорская, 2 – ленок, 3 – сухотунгусикская, 4 – деревнинская, 5 – буровой, 6 – шорихинская, 7 – мироедихинская, 8 – первопорожская, речкинская и дурномысская, 9 – платоновская; III – *Енисейский кряж* (унифицированная схема 1967, с дополнениями), свиты: 1 – кординская, 2 – горбилокская, 3 – удерейская, 4 – погорюйская, 5 – Карточки, 6 – аладьинская, 7 – красногорская, 8 – джурская, 9 – шунтарская, 10 – киргитейская, 11 – нижнеангарская, 12 – дашкинская, 13 – тасеевская серия, 14 – островная; IV – *Чадобецкое поднятие* (по Р. Я. Склярору), свиты: 1 – кординская, 2 – горбилокская, 3 – удерейская, 4 – погорюйская, 5 – дольчиковская, 6 – чуктуконская, 7 – териновская, 8 – жерновская; V – *Западное Присаянье* (по В. В. Хоментовскому, с добавлениями автора), свиты: 1 – шангулежская, 2 – изанская, 3 – ипситская, 4 – теченская, 5 – марминская, 6 – удинская, 7 – айсинская, 8 – мотская, 9 – иркутная; VI – *Прибайкалье* (по В. Д. Мацу, с дополнениями), свиты: 1 – анайская и ее аналоги, 2 – голоустенская, 3 – улунтуйская, 4 – качергатская, 5 – ушаковская; VII – *Патомское нагорье* (по В. Д. Мацу, с дополнениями), свиты: 1 – пурпольская, 2 – медвежевская, 3 – балаганнахская, 4 – мариинская, 5 – джемкуканская, 6 – баракунская, 7 – валюхтинская, 8 – жуинская, 9 – ченчинская, 10 – жербинская, 11 – тиновская; VIII – *Учуро-Майский район* (по С. В. Нужнову, с дополнениями), свиты: 1 – гонамская, 2 – омахтинская, 3 – еннинская, 4 – омнинская, 5 – малгинская, 6 – ципандинская, 7 – лахандинская, 8 – кандыкская, 9 – устькирбинская, 10 – юдомская; IX – *западный склон Анабарского массива* (по Б. М. Келлеру и др.), свиты: 1 – ильинская, бурдурская, лабазтахская и устьильинская, 2 – котуйканская; 3 – юсмастакская, 4 – старореченская; X – *Оленекское поднятие* (по Б. М. Келлеру и др.), свиты: 1 – мастакская, 2 – кютюнгинская, 3 – арымасская, 4 – дебенгинская, 5 – хайпахская, 6 – маастакская, хатыспытская и туркутская; XI – *Хараулахское поднятие* (по Б. М. Келлеру и др.), свиты: 1 – уктинская, 2 – зсэлехская, 3 – нэлэгэрская, 4 – сиэтачанская, 5 – хараюстехская; XII – *Боксонский район* (унифицированная схема 1967 г., с добавлениями), свиты: 1 – окинская, 2 – монгошинская, 3 – сархойская, 4 – забитская, 5 – харагантинская, 6 – билютинская, 7 – хужиртайская; XIII – *Малый Хинган* (по М. С. Маркову и А. М. Смирнову, с добавлениями), свиты: 1 – урильская, 2 – дитурская, 3 – игинчинская, 4 – мурандавская, 5 – рудоносная, 6 – лондонская; *породы*: 1 – конгломераты, гравелиты, песчаники; 2 – алевролиты; 3 – аргиллиты, сланцы; 4 – глинистые известняки; 5 – известняки; 6 – глинистые доломиты; 7 – доломиты; 8 – эффузивы, туфы, туффиты; 9 – кора выветривания; 10 – переотложенные продукты выветривания; 11 – бокситы; 12 – аллиты; 13 – высокоглиноземистые породы; 14 – кварцевые песчаники; 15 – фосфоритоносные; 16 – железные руды (а – месторождения, б – проявления); 17 – марганецсодержащие породы; 18 – пластовые тела железных руд; 19 – пластовые залежи бокситов



нивания бокситов с переходом их по простираанию в терригенные породы. Качество бокситов изменчивое, более развиты аллиты и сиаллиты.

По минеральному составу бокситы в обоих типах разреза бемит-диаспоровые, со следующим средним химическим составом (%): Al_2O_3 41, SiO_2 20, Fe_2O_3 25. Судя по такому составу, бокситы Боксонского месторождения являются низкомодульными и высокожелезистыми. Однако П. В. Орлова, Б. М. Зубарев и некоторые другие исследователи считали, что в районе Боксонского месторождения могут быть обнаружены участки с высокомодульными бокситами, так как бокситы с модулем от 6 до 13 зафиксированы почти на всех разведанных участках.

Большинство исследователей рассматривают генезис бокситов Боксонского месторождения как латеритно-осадочный, но есть и иные точки зрения, а это значит, что генетические вопросы окончательно не решены и требуют дальнейших исследований.

В качестве примера небольших проявлений бокситов рассмотрим Козыреевское, открытое Е. В. Широковой и Д. М. Бондаревой в 1970 г. в северо-западной части Восточного Саяна. По их данным, продуктивная пачка залегает на доломитах овсянковской свиты венда и перекрывается известняками нижнего кембрия. Пачка имеет небольшую мощность (50 м) и сложена туфовыми породами, доломитами и известняками, в ее основании находится бокситовый горизонт (1,8–4,5 м), в пределах которого бокситы слагают линзовидные тела невыдержанной мощности среди вулканогенно-осадочных пород овсянковской свиты.

Бокситы окрашены в лиловые и зеленые тона и имеют тонкослоистую или массивную текстуру. Основная масса глинозема в них связана с диаспоровым и бемитом, составляющими до 28% от объема породы. Помимо этого в них содержатся (%): гиббсит 10, хлорит 39, железистые минералы 15, минералы титана 11, карбонаты 5, галлуазит 30, сульфиды 11. Лучшим качеством среди бокситов обладают лиловые разности. Генезис бокситов Козыреевского рудопоявления большинством исследователей определяется как латеритно-осадочный.

Следует отметить, что другие проявления высокоглиноземистых образований вендской бокситоносной формации, по мнению многих исследователей, включая и автора, генетически связаны с корами химического выветривания и рассматриваются как их метаморфизованные продукты.

Примеры бокситоносных проявлений, связанных с корами выветривания не ограничиваются пределами Сибири. Это подтверждаются многочисленными публикациями.

Так, одни авторы [19, 23] рассматривают силлиманит-корундовые породы с абсолютным возрастом 3400–3500 млн лет, находящиеся в катархейском комплексе Намакваленда (Южная Африка), как метаморфические аналоги продуктов латеритного выветривания, другие [20] описывают корундовые

месторождения юго-запада Монтаны (США) как магматические образования. Там же известны выходы абразивного корунда, находящегося в силлиманитовых сланцах. По мнению автора работы [18], корундовые залежи образовались в результате метаморфизма высокоглиноземистых пород, обогащенных свободным глиноземом.

Подобные материалы приводятся по Центральной Индии [22], где на Бунделькханском щите (возраст пород более 2500 млн лет) обнаружена метаморфизованная кора латеритного профиля, представленная в современном срезе пиррофиллит-диаспоровыми породами.

Метаморфизованные продукты каолинит-бокситовой коры отмечены Д. П. Сердюченко в Южной Австралии [12], А. С. Парвиком [21] – и в Западной.

Аналогичные примеры известны также на Мадагаскаре, в Норвегии и Швеции.

Как полагает И. В. Бельков (1961, 1985), формирование мощных толщ кварцево-кианитовой формации Кольского полуострова тоже происходило в тесной связи с архейской корой выветривания каолинитового типа.

Таким образом, изложенные материалы свидетельствуют о том, что с докембрийскими корами выветривания в Сибири генетически связаны четыре высокоглиноземистые формации (архейская, раннерифейская, средне-позднерифейская и вендская), неравнозначных как по длительности формирования, так и по продуктивности. Начиная с позднего архея процессы химического выветривания проявлялись интенсивно, охватывали большие площади и приводили к полному разложению алюмосиликатных пород. В зависимости от интенсивности химического выветривания в составе этих формаций накапливались высокоглиноземистые осадки, обогащенные свободным глиноземом, которые под воздействием регионального метаморфизма превратились в диаспоровые бокситы, корундиты, кианитовые, андалузитовые, силлиманитовые, силлиманит-корундовые и другие породы.

Как показывает анализ зарубежных публикаций, выделенные в Сибири докембрийские высокоглиноземистые формации были распространены более широко, поскольку продукты размыва коры химического выветривания фиксируются на древних щитах и платформах различных континентов мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алешин С. М.** Древняя метаморфизованная кора выветривания в Восточном Саяне // Палеогеографические условия формирования месторождений полезных ископаемых на юге Сибирской платформы. – Иркутск, 1971. – С. 43–66.
2. **Бессолицын Е. П.** Результаты геолого-разведочных работ и перспективы Боксонского месторождения // Тр. Восточно-Сибирского филиала АН СССР. – 1958. – Вып. 12.



3. **Высокоглиноземистые** формации позднего докембрия Боксон-Сархойского синклинория (Восточный Саян) и Енисейского кряжа / сост. В. В. Жабин, В. И. Бгатов. – М.: Недра, 1986. – 108 с.
4. **Головенок В. К.** Высокоглиноземистые формации докембрия. – Л.: Недра, 1977. – 268 с.
5. **Горецкий Ю. К.** Закономерности размещения и условия образования основных типов бокситовых месторождений. – М.: Госгеолтехиздат, 1960. – 257 с.
6. **Жабин В. В., Казанский Ю. П.** Главнейшие уровни кор выветривания в докембрии Сибири // *Континентальные перерывы и коры выветривания Сибири.* – Новосибирск, 1971. – С. 55–68.
7. **Ильина Н. С.** Геология, минералогия и генезис бокситов Боксонского месторождения в Восточном Саяне // *Докл. АН СССР, Сер. Геол.* – 1944. – № 1.
8. **Кулиш Е. А.** Высокоглиноземистые метаморфические породы нижнего архея Алданского щита и их литология. – Хабаровск, 1973. – 369 с.
9. **Кулиш Е. А.** Нижнеархейские коры выветривания Алданской подвижной области // *Докембрийские коры выветривания.* – М.: ВИЭМС, 1975. – 82 с.
10. **Михайлов Б. М.** Региональные и локальные закономерности размещения бокситовых месторождений. – Л.: Недра, 1978.
11. **Озеров К. Н., Быховер Н. А.** Месторождения корунда и кианита в Верхнетимптонском районе Якутской АССР // *Тр. ЦНИГРИ.* – 1936. – Вып. 82. – 102 с.
12. **Сердюченко Д. П.** Докембрийские метаморфизованные коры выветривания и их геохимические и минералого-петрографические особенности // XXIII сессия МГК. Докл. сов. геологов. Пробл. 4. – М.: Наука, 1968.
13. **Смирнов Л. П.** Древние коры выветривания северной окраины Анабарского щита // *Уч. зап. НИИГА. Сер. Регион. геология.* – 1968. – Вып. 12. – С. 59–78.
14. **Сухарина А. Н.** Бокситоносные формации юго-востока Западной Сибири // *Сов. геология.* – 1973. – № 2. – С. 10–23.
15. **Цехомский А. М., Карстенс Д. И., Веселова И. А.** Формации кор выветривания Центральной Сибири и их минералогия. – Л.: Наука, 1980. – 183 с.
16. **Чайка В. М.** Древнейшие осадочные формации платформ и основные проблемы экзогенного рудообразования в докембрии: автореф. дис. ... д. г.-м. н. – М., 1967. – 46 с.
17. **Шатский Н. С.** Фосфоритоносные формации и классификация фосфоритовых залежей // *Избранные труды. Т. II.* – М.: Наука, 1965. – С. 52–143.
18. **Clabaugh S. E.** Corundum deposits of Montana: U.S. // *Geol. Survey Bull.* – 1952. – No. 983. – 100 p.
19. **Coetzee C. B.** Sillimanit-corundum rocks: a metamorphosed Bauxite in Namagualand // *Trans. Roy. Soc. S. Africa.* – 1940. – No. 28.
20. **Foster R.** Precambrian Corundum-Bearing Rocks, Madison Range, Southwestern Montana // *Geol. Soc. Amer. Bull.* – 1962. – Vol. 73, no. 1. – P. 145–151.
21. **Parvic A. C.** Metamorphosed altered Komatiitas of Maunt Martin, Western Australia – Archaen wethering products metamorphosed at the aluminosilicate triple point // *Austral. J. Earth Sci.* – 1984. – Vol. 31, no. 1. – P. 91–106.
22. **Sharma R. P.** Origin of the pyrophyllite – diaspora deposits of the Buldelkhand Complex, Central India // *Mineralium deposita.* – 1979. – No. 14. – P. 343–352.
23. **Wiid D. de N.** The Pella corundum-sillimanite deposits // *Published report for Pella Refractory Ore S. A. (Pty. Ltd.).* – South West Africa, 1955.

© В. В. Жабин, 2017



УДК (551.4.07:553.81):551.77(571.56)

ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ ЯКУТСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ В КАЙНОЗОЕ

Ю. И. Лоскутов

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

Составлены «возрастные» геоморфологическая и палеогеоморфологические карты Якутской алмазонасной провинции. При этом использован метод картирования «граней» рельефа в эоплейстоценовое, ранне-среднеплейстоценовое и позднеплейстоценовое время. На основе карт восстановлены палеорельеф и палеогидросеть на указанные отрезки времени. Доказана необходимость учета перестройки гидросети при поисках алмазов шлихоминералогическим методом.

Ключевые слова: геоморфологическая и палеогеоморфологические карты, палеогидросеть, алмазы.

PALEOGEOGRAPHY OF THE YAKUT DIAMONDFEROUS PROVINCE IN THE CENOZOIC ERA

Yu. I. Loskutov

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

The author has compiled an age geomorphological map and a paleogeomorphological map for the Yakut Diamondiferous Province by means of mapping the relief edges in the Eopleistocene, Early-Middle Neopleistocene, and Late Neopleistocene times. Using these maps, the author modelled the paleorelief and paleohydronetwork in the given periods of time. Alteration of hydronetworks should be taken into account in search for diamonds by the mineralogical method.

Keywords: geomorphological and paleogeomorphological maps, paleohydronetwork, diamonds.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6c-110-118

Историю развития рельефа той или иной территории восстанавливают на основании изучения рельефа и слагающих его осадков. Основным инструментом при этом являются геологическая и геоморфологическая карты. К геологическим картам претензий нет, так как методика их построения давно уже создана и успешно применяется. Принципы же построения геоморфологических карт с целью восстановления истории развития рельефа пока окончательно не сформированы, существуют разные подходы к геоморфологическому картированию.

Единицей картирования должны быть морфологические грани рельефа, а основным изобразительным средством (цветом) должен изображаться их возраст. Генезис граней следует показывать штриховкой или определенными площадными знаками. Сложный вопрос методики определения возраста и генезиса граней рельефа рассматривался нами ранее неоднократно [2, 13, 19], поэтому мы не будем останавливаться на нем специально.

По изложенной методике на территорию Якутской алмазонасной провинции мы построили геоморфологическую карту, специализированную на поиски алмазов, в м-бе 1:500 000. На ее основе можно создать комплект палеогеоморфологических карт для различных эпох от юры до позднего неоплейстоцена. Мы ограничились тремя основными россыпеобразующими эпохами (эоплейстоценом, ранним – средним неоплейстоценом и поздним неоплейстоценом).

Район работ весьма обширен: он охватывает бассейны таких крупных рек, как Лена, Оленек, Анабар, впадающих в Северный Ледовитый океан (СЛО), а также Марха, Тюнг, Линде. Для удобства восприятия этапов перестройки гидросети мы составили схему современной гидросети (см. рисунок), провели на ней линии главных и второстепенных водоразделов и тем самым обозначили главные бассейны-водосборы: I – бассейн Северного Ледовитого океана, II – бассейн р. Попигаи, III – бассейн р. Анабар, IV – бассейн р. Уэле, V – бассейн р. Оленек, VI – бассейн р. Лена, VII – бассейн р. Мойеро, VIII – бассейн р. Вилюй, IX – бассейн р. Нижняя Тунгуска. Кроме того, мы обозначили места главнейших перехватов гидросети и участки днищ брошенных долин различного возраста.

Наиболее древними являются долины рек бассейна р. Вилюй, которые берут начало с Оленек-Вилюйского плато – Марха, Моркока, Тюнг, а также Муна (бассейн р. Лена) и Силигир (бассейн р. Оленек). В верховьях они наследуют в основном раннемеловые (и даже среднеюрско-раннемеловые), а затем и позднемеловые палеодолины. Так, позднемеловая лено-оленекская денудационная поверхность выравнивания (ПВ) в виде долин-«заливов» проникает в раннемеловую бэкэ-мунскую ПВ, бэкэ-мунская – в среднеюрско-раннемеловые мархинские ПВ, а мархинские ПВ – в среднетриас-раннеюрские дабаанские ПВ.

Чтобы лучше понять, какие изменения в рельефе территории начались в эоплейстоцене, кратко

рассмотрим историю развития рельефа на предыдущих этапах кайнозоя – в палеогене и неогене. К настоящему времени от *палеогеновых* аллювиальных отложений сохранились небольшие фрагменты на юге территории в пределах Марха-Хоруонкинской денудационно-аккумулятивной равнины. Самый северный фрагмент находится на водоразделе рек Тюнг и Тюкян юго-западнее устья р. Мал. Салакут, левого притока Тюнга. По данным М. И. Плотниковой и др. [24], на водоразделе Тюнга и Мархи в палеогене существовал обширный озерно-аллювиальный бассейн, в который впадали реки, текущие с северного направления. Но поскольку четко обособленных русел рек в пределах этой равнины не существовало, то и ожидать каких-либо крупных скоплений алмазов здесь не приходится.

В олигоцене (а на севере – с позднего мела) в результате восходящих движений и затем замедления их стала формироваться эбеляхская денудационная поверхность выравнивания ($K_2(P_3)-N_1$). Выравнивание рельефа и формирование кор химического выветривания в позднем олигоцене – раннем миоцене зафиксировано повсеместно к северу от изучаемой площади – на островах СЛО и на его побережье [14].

Важнейшей особенностью эбеляхской ПВ является то, что в ее пределах сохранились фрагменты озерно-аллювиальной равнины позднемелового возраста, распространявшейся на юг до $69^{\circ}50'$. Озерно-аллювиальные позднемеловые отложения сохранились в долинах современных рек (абс. выс. до 60 м) и на водоразделах (абс. выс. 140–220 м) в виде холмов или на вершинах холмов, сложенных кембрийскими породами, а также в палеодолинах на водоразделах. Мощность этих отложений достигает 36 м. Таким образом, можно сказать, что рельеф эбеляхской ПВ «вырезан» из верхнемеловых осадков.

Осадками, коррелятными образованию эбеляхской ПВ, мы считаем олигоценовые аллювиальные отложения на юге территории [21]. Авторы указанной статьи полагают, что в пределах широкой аллювиальной равнины стали обособляться узкие слабоврезанные речные долины, разделенные невысокими (15–30 м над днищами долин) плоскими водоразделами. В составе аллювия олигоценовых рек преобладают грубообломочные гравийно-галечные отложения, что свидетельствует об усилении эрозии на Оленек-Вилуйском плато. В это время усиливается размыв алмазоносных трубок, а в олигоценовых отложениях наблюдаются максимальные концентрации минералов – спутников алмаза [24].

На всей остальной исследуемой площади следов палеогеновых рек в виде эрозионных или аккумулятивных террас не выявлено.

На правом берегу р. Лена палеогеновые отложения сохранились в северной части Хараулахских гор в наложенных впадинах-грабенах в долинах рек Кенгдей, Сого, Хорогор, Суоллах-Хорогор, Кун-

га, в Булунканской котловине, на западном берегу Быковской протоки на абс. выс. 20–180 м. Представлены они континентальной (озерные, озерно-болотные, озерно-аллювиальные отложения) угленосной толщей (белые глины, пласты бурых углей, песчаники с сидеритовыми конкрециями, конгломераты, алевриты, аргиллиты) мощностью более 1300 м на р. Кенгдей [6]. Возраст пород довольно надежно устанавливается по палеонтологическим остаткам: накопление угленосных осадков происходило главным образом в эоцене, захватывая конец палеоцена и начало олигоцена.

В неогене, точнее в *плиоцене*, на юге территории образовалась обширная аллювиальная равнина, формирование которой происходило в специфической обстановке, когда небольшие блуждающие реки отлагали маломощный (от 7 до 12, редко 15 м) аллювиальный покров [10]. По данным М. И. Плотниковой и др. [24], неогеновые реки несли более грубообломочный материал, чем палеогеновые. Среди обломочного материала преобладали слабоокатанные окремненные нижнепалеозойские породы, увеличилась роль продуктов размыва пород трапповой формации. Все это свидетельствует об усилении глубинной эрозии в пределах Оленек-Вилуйского плато. В это время в днище Кюленке-Муна-Кэлимээрской палеодолины отлагались маломощные (в основном 1,5–3,5 м) так называемые табагинские галечники.

В позднем плиоцене при стабильной тектонической обстановке начала формироваться куонамская придолинная ПВ ($N_2^3-E_1$), имеющая современные абсолютные высоты 120–180 м. Развита она главным образом в пределах долины палео-Лены, на юге территории, представляя собой ее днище, а также в долине р. Оленек. На вершинах холмов на этой ПВ сохранились остатки «табагинских галечников».

Эоплейстоценовый этап охватывает интервал времени от 0,8 до 2,6 млн лет, т. е. длительность его составляет 1,8 млн лет. Это больше, чем весь неоплейстоцен. В это время рельеф территории был близок к современному. Наиболее высокие отметки рельефа отмечены на западе и юго-западе территории в пределах восточного склона Анабарского щита и Оленек-Вилуйского ступенчатого плато. Здесь были широко развиты бэкэ-мунская раннемеловая, мархинские среднеюрско-раннемеловые и дабаанские среднетриасовые-раннеюрские денудационные ПВ, еще не «изъеденные» четвертичной эрозией. Центральную часть территории занимала позднемеловая лено-оленинская денудационная ПВ, а на севере, востоке и юго-востоке – эбеляхская ($K_2(P_3)-N_1$) и куонамская ($N_2^3-E_1$) ПВ, являющиеся придолинными по отношению к палео-Лене.

На севере территории (побережье моря Лаптевых) Суоламо-Бурская эрозионно-аккумулятивная-низменность в эоценовое время представляла собой пресноводно-морской бассейн, на северо-



№ 6с ♦ 2017

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11

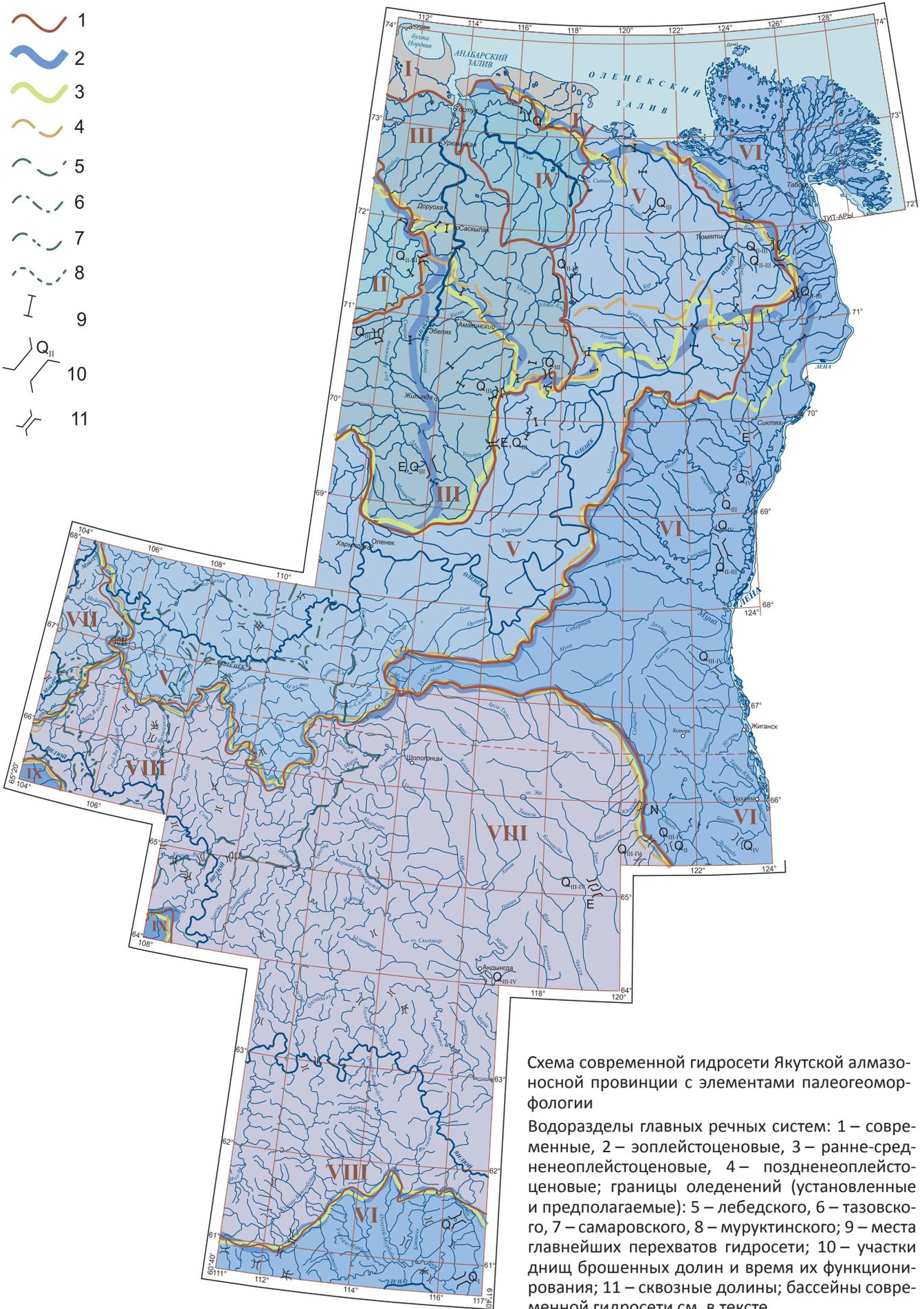


Схема современной гидросети Якутской алмазносной провинции с элементами палеогеоморфологии

Водоразделы главных речных систем: 1 – современные, 2 – эоплейстоценовые, 3 – ранне-среднеплейстоценовые, 4 – позднеплейстоценовые; границы оледенений (установленные и предполагаемые): 5 – лебедского, 6 – тазовского, 7 – самаровского, 8 – муруктинского; 9 – места главнейших перехватов гидросети; 10 – участки днищ брошенных долин и время их функционирования; 11 – сквозные долины; бассейны современной гидросети см. в тексте

востоке отделенный от СЛО кряжами Прончищева и Чекановского.

В раннем эоплейстоцене на левом берегу р. Лена происходила выработка сюнгуденской придолинной денудационной ПВ (E_1^1) с абс. выс. 80–140 м, представляющей собой днище палео-Лены. Затем в эту ПВ была врезана черендейская эрозионно-аккумулятивная надпойменная терраса ($E_1^{2\check{c}n}$). Фрагменты этой террасы сохранились в Кюленке-Муна-Кэлимээрской долине палео-Лены, а также в низовьях рек Молодо, Тюнг, Марха и ее притоков Ханья, Накын и др.

В позднем эоплейстоцене произошло значительное поднятие территории (или понижение базиса эрозии), а затем его замедление. В результате образовалась тустахская аккумулятивная и эрозионно-аккумулятивная надпойменная терраса (E_2^{1ts}), наблюдаемая на многих реках и далеко заходящая в их верховья.

В целом же план гидросети эоплейстоценового времени на юге территории практически полностью сохранился до настоящего времени, перестроен гидросети не отмечается. Наибольшие изменения были на востоке территории, где закартирована широкая палеодолина р. Лена, находящаяся на ее левом берегу и прослеживаемая на север, где через сквозную долину, занятую в настоящее время р. Келимээр, она впадала в палеобассейн. По мнению Р.О. Галабалы [3], существовавшая в то время водная артерия не была связана с р. Лена, и он назвал эту реку палео-Молодо.

Плиоценовые аллювиальные отложения сохранились к настоящему времени не только в депрессионных понижениях и на сюнгуденской денудационной (E_1^1), но и на куонамской ПВ. Поэтому мы можем предполагать, что выработка куонамской ПВ водами палео-Лены происходила в основном в плиоцене, а в эоплейстоцене в нее уже врезалась сюнгуденская ПВ и начались разрушение и смыв накопленных аллювиальных отложений с алмазами.

Лено-оленекская и эбеляхская ПВ на этой площади имели придолинный характер. Все эти уровни (за исключением самого древнего) наблюдались и на Оленекском поднятии, и на кряже Чекановского. Кряж Прончищева был ниже, и на нем сохранилась лишь эбеляхская ПВ в виде изолированных площадей, слагающих самые высокие водоразделы.

По долинам основных современных рек широко развита куонамская ($N_2^3-E_1$) придолинная ПВ, по наличию остатков которой мы и восстановили гидросеть этого времени. Основные ее отличия следующие.

1. Река Анабар в эоплейстоценовое время текла с севера на юг и впадала в р. Оленек через р. Биректе. В современном рельефе сохранилась брошенная долина, по которой р. Анабар через р. Усумун впадала в р. Биректе. Верховья р. Анабар на севере узкой перемычкой, сложенной ле-

но-оленекской ПВ, были отделены от рек, текущих на север. Южное направление течения р. Анабар подтверждается ориентировкой левых притоков, впадающих в него под острыми углами. Заметим, что эти притоки в своих верховьях освоили остатки альб-сеноманской гидросети.

2. Река Бол. Куонамка впадала не в р. Анабар, а через долину приустьевого части р. Старая и сквозную долину – в р. Попигай, которая, в свою очередь, впадала в пресноводный бассейн в Попигайской котловине.

3. На месте р. Уджа и других северных рек располагался обширный мелководный пресноводноморской бассейн (по В.В. Жукову и др. [12]). Но, возможно, это была приморская озерно-аллювиальная равнина. Мы придерживаемся первой точки зрения, так как на междуречье Куойка – Беенчиче найдены хорошей сохранности фораминиферы, обитающие на литорали холодного моря нормальной солености. В то же время здесь имеются многочисленные пресноводные диатомеи. На юге берег бассейна ограничивался куонамской ПВ, которая занимала здесь большие водораздельные площади и протягивалась на северо-восток, соединяясь с кряжем Чекановского и отделяя бассейн в долине р. Биректе. Куонамская ПВ слагает северо-западную оконечность кряжа Чекановского и большую часть кряжа Прончищева. Кроме того, она узкой полосой окаймляет Оленекское поднятие.

4. Река Оленек в эоплейстоценовое время не огибала с запада Оленекское поднятие, направляясь на север, а текла на восток, впадая через Кютюнгдинскую долину в палео-Лену. Реки Беенчиче и Куойка (левые притоки р. Оленек) в это время текли в противоположном направлении – на северо-запад – и впадали в палеобассейн.

5. Наиболее значительные изменения были на востоке территории, где закартирована широкая палеодолина р. Лена, находящаяся на ее левом берегу и прослеживаемая на север, где она через сквозную долину, занятую в настоящее время р. Келимээр, впадала в палеобассейн.

В дельте Лены в это время формировалась аллювиальная поверхность выравнивания, сложенная трофимовской свитой предположительно эоплейстоценового возраста. Предполагается, что эоплейстоценовые осадки формировались и на Северо-Сибирской низменности, но конкретных материалов, подтверждающих это, нет.

Ранее мы отмечали, что аллювиальные осадки эоплейстоценового возраста в дельте р. Лена были принесены палео-Леной. Поэтому мы полагаем, что в месте изгиба современной Лены ниже устья р. Крестях мощный водоток палео-Лены в плиоцен-эоплейстоценовое время разделялся на два рукава, один из которых устремлялся по Келимээрской сквозной долине на север и далее на северо-запад, а другой протекал восточнее современной р. Лена и впадал непосредственно в СЛО.



На листах R-51, 52 геоморфологической карты мы показали фрагменты плиоцен-раннеоплейстоценовой аккумулятивной озерно-аллювиальной ПВ, сохранившейся главным образом в виде покровных отложений на наиболее высоких водоразделах. Предполагается, что эти отложения перекрывали весь рельеф вплоть до 70° с. ш. Поэтому на палеогеоморфологической карте эоплейстоценового этапа следовало бы большую часть территории указанных листов перекрыть плиоценовыми осадками. Однако мы решили показать лишь современные фрагменты этих отложений, несколько увеличенные по площади.

Палеогеоморфологическая карта на **ранне-среднеоплейстоценовый этап** охватывает промежуток времени от 130 до 800 тыс. лет назад.

Четвертичный период в целом характеризует-ся общим поднятием севера Евразии. Прерывистый характер поднятия привел к созданию серии террас на рр. Лена, Анабар, Оленек и на некоторых их притоках. В раннем неоплейстоцене образовались пеледуйская (Q_1^{pl}) и орунчанская (Q_1^{or}) террасы, а в среднем – бестяхская (Q_{II}^{bs}) и четвертая надпойменные террасы ($4Q_{II}^{3+4}$).

Фрагменты *пеледуйской террасы* на листе R-51 зафиксированы всего в одном месте – в низовьях р. Молодо на ее левом берегу [4], а на листе Q-50, 51 она развита почти по всем рекам и является третьей надпойменной террасой.

На листе R-52-I, II пеледуйская терраса эрозионная, ее абсолютная высота 220–240 м [7].

Аллювиальные нижнечетвертичные отложения известны также вдоль Быковской протоки дельты р. Лена (на геоморфологической карте они не показаны), где в двух небольших выходах залегают на палеозойском цоколе высотой 10–12 м [9]. Отложения представлены плохо сортированными галечниками и грубозернистыми кварц-полевошпатовыми песками мощностью 2–4 м. Среди галек преобладают палеозойские известняки (до 70%), много кремневых пород, кварца, кварцитов. По сравнению с эоплейстоценовыми отложениями в них нет обломков лигнитизированной древесины, выветрелых галек, железисто-карбонатных корок, и они менее ожелезнены. Предполагается, что нижнечетвертичные отложения широко распространены в дельте р. Лена под более молодыми осадками.

Орунчанская терраса развита практически по всем крупным рекам и их притокам и занимает положение второй надпойменной террасы.

Следует отметить, что раннеоплейстоценовые террасы отмечаются в том числе в самых верховьях рек и в их притоках, что свидетельствует о широком развитии в это время гидросети, которая сохранилась практически без изменений до настоящего времени.

5-я (бестяхская) надпойменная терраса закартирована на рр. Лена, Оленек, Анабар (в том числе и на его притоках), в низовьях рр. Молодо,

Моторчуна, Муна, Тюнг. Площадь распространения ее гораздо меньше, чем более древних террас. Абсолютные высоты террасы изменяются от 160 до 220 м, относительные – от 100 до 140 м. Терраса большей частью скульптурная, а также эрозионно-аккумулятивная. Мощность аллювия варьирует от 0 до 32 м.

Террасовидная 100-метровая эрозионная ПВ (Q_{II}^1), возрастной аналог пятой надпойменной террасы, широко развита на междуречье Лена – Анабар – Оленек севернее их притоков – Уджа и Бур. Абсолютные высоты поверхности изменяются от 80 до 120 м, местами понижаясь к северу до 60 м. Поверхность выработана в меловых и юрских породах. В пределах террасовидной поверхности имеются многочисленные эрозионные останцы с остатками на вершинах холмов плиоценового (?) аллювия небольшой мощности.

На севере в средне-позднеоплейстоценовое время существовали аллювиально-морской бассейн (мощность осадков до 55 м) и озерно-аллювиальная равнина, или же, по В. В. Жукову и др. [12], крупный мелководный пресный бассейн – «бореальный бассейн подтопления» (Q_{II}^1).

На листах Q-50, 51 довольно широко развит тобольский (бестяхский) аллювий, который образовался в максимальную стадию доледникового (досамаровского) вреза. Практически везде он перекрыт более молодыми осадками и лишь в виде узких полос над пойменными террасами рек Лена, Тюнг, Хоруонгга, Хяхчаан выходит на поверхность и показан нами как террасовидная ПВ.

Четвертая надпойменная терраса (Q_{II}^{3+4}) распространена на крупных реках – Лена, Анабар, Оленек. На листе R-51 она зафиксирована на р. Лена и в нижних течениях ее левых притоков Молодо, Сюнгюде, Моторчуна, Муна. Высота террасы изменяется от 20–60 м на мелких реках и до 70–150 м – на крупных, абс. выс. 80–180 м. Терраса большей частью цокольная с аллювием мощностью до 35 м, иногда скульптурная. В бассейнах рр. Уджа, Бур терраса представляет собой аккумулятивную равнину с мощностью аллювия до 30–35 м.

На склонах Анабарского щита имеются следы тазовского оледенения (Q_{II}^4) – так называемые «валунные суглинки» мощностью до 15 м.

В среднеоплейстоценовое время в долине р. Лена, в результате подпруживания ее ледниками, образовался обширный проточный бассейн, в котором отлагались, в частности, озерно-аллювиальные осадки мавринской свиты (Q_{II-III}) в «обстановке заволакивания долин наносами» [10]. Осадки этого бассейна прослеживаются и в долинах нижнего течения рр. Линде, Тюнг, Тюкян и Чили.

Озерно-аллювиальная террасовидная ПВ самаровского времени (Q_{II}^2), не перекрытая осадками позднеоплейстоценового времени, закартирована только в одном месте – на левом берегу р. Молодо ниже устья ее левого притока р. Тирехтэх.



Основные изменения в гидросети ранне-среднеплейстоценового времени в северной части территории по сравнению с современным положением следующие.

1. Река Дюкэн (правый приток р. Бол. Куонамка) в верховьях через брошенную в настоящее время долину через р. Биригиндэ перехватывала (как и в эоплейстоценовое время) верховья р. Мал. Куонамка с ее крупным левым притоком р. Мюнсюсэн.

2. Река Бол. Куонамка отсоединилась от бассейна р. Попигай и стала впадать в р. Мал. Куонамка, как и в настоящее время.

3. Река Анабар, в результате «пятящейся эрозии» в верховьях размыва узкий перешеек и стала впадать в «бореальный бассейн подтопления» [12], сменив направление течения с южного на северное.

4. Река Бур текла в противоположном направлении и через р. Уджакан впадала в р. Уджа.

5. Река Оленек, как и в эоплейстоценовое время, по-прежнему впадала через Кютюнгдинскую долину в палео-Лену, только левый приток в результате «пятящейся эрозии» значительно продвинулся на север, огибая Оленекское поднятие.

6. Через палеодолину, освоенную в настоящее время р. Келимээр, в среднеплейстоценовое время проходил водораздел (как и в настоящее время). На север от этого водораздела текла р. палео-Келимээр, впадавшая в палеобассейн, из которого на север вытекала река (ныне это низовья р. Оленек) и впадала в СЛО. К югу от водораздела сток осуществлялся на юг и затем через узкую долину р. Эекит в основную долину палео-Лены.

Однако на юге территории (листы Q) в среднеплейстоценовое время общий план гидросети оставался прежним, а эрозия рек была ослаблена из-за высокого стояния базиса эрозии, обусловленного наличием подпрудного бассейна в долине р. Лена. Возможно, высокое положение базиса эрозии было обеспечено также наиболее значительной трансгрессией этого времени, которая достигала отметок 60–80 м [11] либо даже 100–120 м [18]).

Поздний неоплейстоцен охватывает период между 10 и 130 тыс. лет назад и включает в себя два межледниковья – казанцевское (саняхтахское) и каргинское (нижнеякутское), разделенные муруктинским (нижнезырянским = натарским) оледенением, и завершается позднемуруктинским (сартанским = верхнезырянским = верхнеякутским) оледенением. Во время межледниковий были сформированы третья (в основном цокольная, реже аккумулятивная) и вторая (эрозионно-аккумулятивная, реже скульптурная) надпойменные террасы.

В идеальном случае следовало бы построить палеогеоморфологические карты на все четыре вышеперечисленных подразделения позднего неоплейстоцена. Но мы, восстанавливая палеорельеф на весь период позднего неоплейстоцена, были вынуждены на карте объединять аккумулятивные ПВ, отдавая предпочтение наиболее распространенным.

В позднеплейстоценовое время по долинам рек формировались, как уже отмечалось, вторая и третья надпойменные террасы; все они для упрощения показаны как аккумулятивные, хотя в их пределах имеются местами и эрозионные (скульптурные) участки. В Уджа-Сектеяхской и Бурской впадинах, в Попигайской котловине, на Северо-Сибирской низменности в это время отлагались озерно-аллювиальные осадки, а на севере и востоке Анабарского кряжа – ледниковые и водно-ледниковые образования Муруктинского оледенения.

В позднем неоплейстоцене в периоды понижения базиса эрозии в бассейнах рр. Муна, Арга-Тюнг в верхнекембрийских карбонатных отложениях формировались карстовые воронки, заполняемые железненными осадками [16].

Третья надпойменная терраса ($3Q_{III}^1$) в пределах листов R-50, 51 распространена практически на всех крупных реках и их притоках, но ее нет в их верховьях. Относительная высота ее изменяется от 20–30 до 60–120 м, мощность аллювия – от 0,6–20 до 35–40 м. Терраса в основном цокольная, редко аккумулятивная, еще реже скульптурная.

В пределах листов Q-50, 51 третья надпойменная терраса позднеплейстоценового возраста отсутствует, так как она «переведена» авторами [10] в пеледуйскую террасу (Q_1^{pl}). Отсутствие следов позднеплейстоценового казанцевского аллювия на реках здесь можно объяснить стабильным тектоническим состоянием территории и постоянным базисом эрозии, когда воды рек текли транзитом, не врезаясь и не осуществляя боковой эрозии. Этому способствовало наличие в это время бассейна подтопления в долине р. Лена. Следует полагать, по видимому, что процессы врезания и формирования третьей террасы в низовьях р. Муна (лист R-51) не успели затронуть ее долину выше по течению, как раз начиная с границы листов Q-50, 51.

На исследуемой территории в это время формировалась **вторая надпойменная терраса** ($2Q_{III}^3$), которая распространена более широко, чем третья – практически по всем рекам, в том числе и в их верховьях. На листах Q-50, 51 на большинстве рек эта терраса «переведена» авторами [10] в орунчанскую террасу (Q_2^{or}).

В муруктинское (натарское) время (Q_{III}^2) р. Лена в районе «Ленской трубы» была подпружена ледником, образовался проточный водоем, полностью закрывавший долину палео-Лены и основные понижения [5]. Позднеплейстоценовые озерно-аллювиальные осадки (супеси, суглинки, пески) сохранились в современных долинах рек, речек и ручьев практически повсеместно южнее «Ленской трубы». Большие площади они занимают в пределах Марха-Хоруонгинской денудационно-аккумулятивной долины; сохранились они и по бортам долин в низовьях рек Чили, Тюкян, Тюнг, Хаччан, Кюленке, Хоруонга.

В позднеплейстоценовое время изучаемая территория находилась вне ледниковой зоны



в перигляциальных условиях. Близость верхоянских ледников сказалась в образовании аккумулятивной равнины (абс. выс. 160–220 м) на левом берегу р. Лена и на междуречье Тюнг – Коночаан. Равнина сложена пылеватыми покровными криогенно-оловыми отложениями муруктинско-сартанского возраста.

Ледниковые отложения муруктинского горизонта на левом берегу р. Лена обнажаются только в береговых обрывах в районе пос. Жиганск и всюду перекрыты более молодыми осадками начиная с каргинских.

В позднем неоплейстоцене на водораздельных поверхностях с современными абс. выс. 160–420 м формировались покровные глины и суглинки эйкской свиты (Q_{III}^{2-4}) за счет разрушения подстилающих юрских отложений. Генезис покровных образований эйкской свиты сложный – озерный, болотный, делювиальный, солифлюкционный, криогенный.

В конце Q_{III} началась неотектоническая перестройка СЛО, совпавшая с сартанским оледенением (Q_{III}^4). Произошла глубокая регрессия океана (22–11 тыс. лет назад), уровень моря упал до –100...–300 м [23], обнажился весь Лаптевоморский шельф. Существует множество оценок изменения уровня Мирового океана в позднем неоплейстоцене. Так, по обобщенным данным А. О. Селиванова [22], понижение уровня Мирового океана в Q_{III} изменялось от 52 до 170 м. После сартанского оледенения вновь началась трансгрессия и в интервале 11,2–10, 2 тыс. лет назад возникло море Лаптевых [17].

Сартанское оледенение оставило свои следы на левом берегу р. Лена в виде ледниковых и лессовых образований. В районе Жиганска имеются только ледниковые валуны и галька верхоянских пород, залегающих на каргинских и более древних отложениях. Лессовые образования аналогичны муруктинско-сартанским, а аллювиальные отложения сартанского времени известны лишь в одном месте – в 7 км южнее Жиганска, где они слагают 18–26-метровую террасу р. Лена [10].

В целом гидросеть позднего неоплейстоценового этапа на юге территории не отличалась от современного плана гидросети. Перестройки гидросети нигде не отмечаются. Единственное отличие – это наличие в долине палео-Лены подпрудного проточного бассейна, куда и впадали все реки в позднем неоплейстоцене.

Отличия гидросети позднего неоплейстоценового времени на севере территории от современной следующие.

1. Река Анабар и ее правый приток р. Мал. Куонамка вновь поменяли направление течения на обратное и через долины р. Усумун (приток р. Мал. Куонамка) и р. Биректе (приток р. Оленек) стали впадать в р. Оленек. Неопровержимое доказательство этому – наличие сквозной долины (где имеются и третья, и вторая надпойменные террасы)

в районе оз. Ничалах между рр. Усумун и Биректе. Этот факт был установлен при геологической съемке м-ба :200 000 [15, 25].

2. Река Уджа также сменила направление течения на противоположное – через брошенную долину в верховьях ее правого притока р. Уджакан она соединялась с р. Бур и текла на восток.

В начале позднего неоплейстоценового времени имела место бореальная (казанцевская) трансгрессия, уровень моря поднимался до +7 м [23]. Считается, что трансгрессия доходила только до хребта Прончищева [20]. Однако ранее мы отмечали, что на севере Северо-Сибирской низменности в Q_{III} существовал аллювиально-морской бассейн – «бореальный бассейн подтопления», по В. В. Жукову и др. [12], максимальная фаза которого была в казанцевское время. Отметим также, что в начале Q_{III} значительная часть Таймыра была залита морем [8]. Существование «бассейна подтопления» на севере и объясняет изменение течения рр. Анабар и Уджа на противоположное: существенно повысился базис эрозии бассейна и реки были «вынуждены» сменить направление течения.

Обратное направление течения указанных рек сохранялось вплоть до каргинского времени включительно, когда произошла вторая бореально-арктическая трансгрессия (46–22 тыс. лет назад) и море ингрессивно заходило в долины рек [26]. Уровень моря при этом поднялся до +10–15 м [27].

3. Река Оленек по-прежнему огибала Оленекское поднятие с юга и впадала через Кютюндинскую впадину в палео-Лену. Северный палеоприток р. Оленек (современный Оленек) продвинулся на север (по сравнению со средним неоплейстоценовым временем) в результате «пятящейся» эрозии, но еще не соединился сдвигающимся к нему навстречу притоком палео-Лены. Об этом свидетельствуют отсутствие террас и явно молодой врез на отрезке р. Оленек от устья ее левого притока р. Бур до устья р. Суордаах.

Выводы

На основе анализа геоморфологических и палеогеоморфологических карт Якутской алмазоносной субпровинции можно сделать следующие выводы:

1. Рельеф территории является ярусным и разновозрастным. При этом чем выше находится денудационный уровень, тем он древнее.

2. Денудационный рельеф преобладает над аккумулятивным в соотношении примерно 3:1.

3. Денудационные ПВ, сохранившиеся в современном рельефе, преимущественно мезозойские: наиболее древние из них дабаанские ПВ (T_2-J_1) распространены по окраинам Анабарского щита и в пределах Оленек-Вилуйского ступенчатого плато. Основную же площадь занимают лено-оленекская (K_2) и эбеляхская ($K_2(P_3)-N_1$) ПВ. О стабильной тектонической обстановке свидетельствуют также



сохранившиеся на междуречье Оленека – Анабара на эбеляхской ПВ фрагменты альб-сеноманской гидросети, а в долинах современных рек и на водоразделах – размытые остатки озерно-аллювиальных альб-сеноманских отложений.

4. Современная гидросеть расположена в долинах рек, отдельные фрагменты которых возникли в разное время: от мела до квартера. В целом же современная гидросеть региона является унаследованной с плиоценовой (а скорее всего, с миоценовой) эпохи, так как придолинная куонамская ПВ ($N_2^3-E_1$) прослеживается практически по всем основным современным водотокам.

В *эоплейстоценовое* время изменения гидросети (по сравнению с современной) были следующие:

а) р. Бол. Куонамка не соединялась с р. Мал. Куонамка, а через р. Старая впадала в Попигайскую котловину;

б) р. Анабар текла на юг и через рр. Мал. Куонамка, Усумун и Биректе впадала в Оленек;

в) р. Оленек огибала Оленекское поднятие с юга и впадала через Кютюндинский грабен в палео-Лену.

В *средннеоплейстоценовое* время р. Бол. Куонамка соединилась с р. Мал. Куонамка, образовав р. Анабар, которая в результате регрессивной эрозии размыла узкий перешеек в его верховьях и стала течь на север; р. Оленек по-прежнему впадала в палео-Лену. Река Бур в это время текла в противоположном направлении – через р. Уджакан она впадала в р. Уджа.

В *поздннеоплейстоценовое* время р. Анабар в результате подпруживания ее устья бореальным бассейном и повышения базиса эрозии вновь стала впадать через указанные реки в р. Оленек, который по-прежнему впадал в палео-Лену. Река Уджа сменила направление течения на противоположное – через брошенную долину в верховьях ее правого притока р. Уджакан она соединялась с р. Бур и текла на восток.

В муруктинское время р. Лена в районе «Ленской трубы» была подпружена ледником и образовался водоем, полностью закрывавший территорию долины палео-Лены и основные понижения [5]. В конце Q_{III} началась неотектоническая перестройка СЛО, совпавшая с сартанским оледенением (Q_{III}^4). Произошла глубокая регрессия СЛО (22–10 тыс. лет назад), уровень моря упал до –100... –300 м, Лаптевоморский шельф оголился [24]. После сартанского оледенения вновь началась трансгрессия, и 11,2–10,2 тыс. лет назад возникло море Лаптевых [18].

5. Северная часть исследуемой территории представляет собой побережье моря Лаптевых, которое на протяжении всего кайнозоя периодически затоплялось морем. Так, Суоламо-Бурская эрозионно-аккумулятивная низменность в *плиоцен-эоплейстоценовое* время представляла собой пресноводно-морской бассейн, на северо-востоке отделен-

ный от СЛО кряжами Прончищева и Чекановского. В *средннеоплейстоценовое* время (Q_{III}), на севере площади также существовал аллювиально-морской бассейн, постепенно переходящий в крупный мелководный пресный бассейн. Широко развита была и 100-метровая эрозионная ПВ (Q_{III}^1) с остатками неогенового аллювия на вершинах холмов. На склонах Анабарского щита находился ледник; сохранились следы этого оледенения (тазовского, Q_{III}^4) в виде «валунных суглинков» мощностью до 15 м. В *поздннеоплейстоценовое* время на северном побережье Северо-Сибирской низменности на палеогеоморфологической карте мы показали морскую аккумулятивную ПВ муруктинско-каргинского времени, «сняв» озерно-аллювиальные (Q_{III}^4 sr) и криогенные образования (Q_{III}^{2-4}). По данным Д. Ю. Большианова и др. [1], здесь 130–70 тыс. лет назад (Q_{III}^1 – Q_{III}^2) существовал морской бассейн, 70–30 тыс. лет назад постепенно превратившийся (Q_{III}^2 – Q_{III}^3) в пресноводный.

Таким образом, указанные выше перестройки гидросети необходимо учитывать при поисках алмазов шлихоминералогическим методом.

Достоверность изложенных выше палеогеоморфологических реконструкций зависит не только от методически правильного анализа рельефа, но и в гораздо большей степени от стратификации кайнозойских отложений. Здесь существуют большие проблемы, связанные с тем, что геологические материалы по кайнозою, полученные во время государственных съемок м-ба 1:200 000, в значительной мере устарели. Появились новые стратиграфические схемы, изменился даже объем квартера: нижняя граница четвертичных отложений с 0,8 млн лет опустилась до 1,8, а сейчас уже и до 2,6 млн лет. А основные россыпные месторождения алмазов связаны как раз с четвертичным периодом. Поэтому мы полагаем, что изучение кайнозойских отложений Якутской алмазоносной провинции является крайне необходимым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Большианов Д. Ю.** Новые представления о палеогеографии плейстоцена Арктики и Антарктики // Отечественная геоморфология: прошлое, настоящее, будущее: матер. XXX Пленума Геоморф. комиссии РАН. – СПб., 2008. – С. 34–35.
2. **Время** и возраст рельефа / Б.П. Агафонов, Г.С. Ананьев, В.М. Белоусов и др. – Новосибирск: Наука, 1994. – 192 с.
3. **Галабала Р. О.** К истории развития речной сети бассейна нижнего течения р. Лены // Проблемы геоморфологии и неотектоники платформенных областей Сибири. – Новосибирск: Наука, 1970. – С. 264–272.
4. **Галабала Р. О., Гордин В. А.** Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Лист R-51-XXIII, XXIV. Объяснительная записка. – М., 1969. – 86 с.
5. **Галабала, Р. О., Минаева Ю. И.** Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Лист R-51-



XXXIII, XXXIV. Объяснительная записка. – М.: Недра, 1968. – 64 с.

6. **Геологическая** карта СССР. Масштаб 1:1 000 000. Лист R-(50)–52 – Тикси. Объяснительная записка / отв. ред. А. А. Межвилк, Ф. Г. Марков. – Л., 1983. – 135 с.

7. **Гогина Н. И., Грошин С. И.** Государственная геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Лист R-52-I, II. Объяснительная записка. – М., 1976. – 83 с.

8. **Государственная** геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000. Лист S-47–49 – оз. Таймыр. Объяснительная записка. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. – 230 с.

9. **Государственная** геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000 000. Лист S-50–52 – Быковский. Объяснительная записка. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2001. – 188 с.

10. **Государственная** геологическая карта. Масштаб 1:1 000 000. Лист Q-50, 51 – Жиганск. Объяснительная записка / отв. ред. Л. М. Натапов. – СПб., 1993. – 91 с.

11. **Данилов И. Д.** Развитие континентальной окраины Северной Евразии в позднем кайнозое / И. Д. Данилов // Геология и геоморфология шельфов и материковых склонов. – М.: Наука, 1985. – С. 48–57.

12. **Жуков В. В., Горина И. Ф., Пинчук Л. Я.** Кайнозойские алмазоносные россыпи Анабаро-Оленекского междуречья (условия формирования и закономерности размещения). – Л.: Недра, 1968. – 144 с.

13. **История** формирования рельефа западной окраины Сибирской платформы и Енисейского кряжа / В. Ф. Филатов, Ю. И. Лоскутов, Г. Ф. Кузнецова и др. – Новосибирск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1976. – 87 с.

14. **Ким Б. И., Глезер З. И.** Осадочный чехол хребта Ломоносова (стратиграфия, история формирования чехла и структуры, возрастные датировки сейсмокомплексов) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2007. – Т. 15, № 4. – С. 63–83.

15. **Клейзер А. Е.** Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Лист R-50-XXI, XXII. Объяснительная записка. – М.: Недра, 1964. – 55 с.

16. **Кривонос В. Ф., Федоров П. Т.** Новые данные о природе локальных магнитных аномалий трубчатого типа на восточном склоне Анабарской антеклизы // Геология и геофизика. – 1971. – № 6. – С. 96–104.

17. **Лаврушин Ю. А.** Экстремальные природные события в бассейне Северного Ледовитого океана в последние 60 тыс. лет // Бюллетень комис-

сии по изучению четвертичного периода. – 2007. – № 67. – С. 20–32.

18. **Лазуков Г. И.** Плейстоцен территории СССР. – М.: Высшая школа, 1989. – 318 с.

19. **Лоскутов Ю. И., Кузнецова Г. Ф., Филатова Н. Р.** Методические рекомендации по составлению геоморфологических и палеогеоморфологических карт средних и крупных масштабов, специализированных на поиски гипергенных полезных ископаемых (на примере Сибирской платформы). – Новосибирск, 1995. – 99 с.

20. **Михалюк Ю. Н.** Морские позднекайнозойские отложения в Восточном секторе Советской Арктики // Стратиграфия и палеогеография позднего кайнозоя Арктики. – Л., 1982. – С. 97–104.

21. **Новые** данные о «водораздельных галечниках» междуречья Мархи и Тюнга / О. И. Кардопольцева, В. А. Морева, М. И. Плотникова и др. // Материалы по геологии Сибири: сборник статей. – Л.: ВСЕГЕИ, 1961. – С. 117–133.

22. **Селиванов А. О.** Изменение уровня Мирового океана в плейстоцен-голоцене и развитие морских берегов. – М.: Изд-во РАСХН, 1996. – 268 с.

23. **Селиванов А. О.** Изменения уровня Мирового океана в плейстоцене: временной и пространственный аспекты // Главнейшие итоги в изучении четвертичного периода и основные направления исследований в XXI веке: тез. докл. Всерос. совещ. – СПб., 1998. – С. 207–208.

24. **Стратиграфия** и литология «водораздельных галечников» мархинско-тюнгского междуречья и палеогеография времени их накопления в связи с историей формирования алмазоносных россыпей бассейна среднего течения р. Мархи [Текст] / М. И. Плотникова, О. И. Кардопольцева, О. Г. Салтыков и др. // Геология алмазных месторождений: тр. Якут. филиала СО АН СССР, сер. геол., сб. № 9. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 123–141.

25. **Табунов С. М.** Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Лист R-50-IX, XX. Объяснительная записка. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – 61 с.

26. **Труфанов Г. В.** Верхнекайнозойские отложения Новосибирских островов // Стратиграфия и палеогеография позднего кайнозоя Арктики. – Л., 1982. – С. 81–89.

27. **Фотина Ю. Л.** Новые данные о распространении кайнозойских трансгрессий в восточной части моря Лаптевых // Докл. АН СССР. – 1992. – Т. 325, № 4. – С. 795–798.

© Ю. И. Лоскутов, 2017



ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКОВ ГЛИНОЗЕМНОГО СЫРЬЯ, ЗОЛОТА И АЛМАЗОВ НА СЕВЕРЕ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА В МЕЖДУРЕЧЬЕ ЧАПЫ – ТЫРАДЫ (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

Г. Н. Черкасов

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

Предварительные исследования Чапского и Тырадинского объектов андалузит-хлоритоидных метасоматических (вторичных) кварцитов в качестве глиноземного сырья выявили, что глиноземные кварциты представлены кондиционными рудами с содержанием в них андалузита, хлоритоида и маргарита по 31,0% и 35,2% соответственно. Руды хорошо обогащаются, залегают в легко доступных для отработки открытым карьером горно-технических условиях. Ресурсы исследованного участка Чапского объекта по категории P_2 составляют 551 млн т руды. Кроме того, кварциты золотоносны (0,3–1,0 г/т), ресурсы золота свыше 250 т. Рассматривается возможность придания объектам статуса комплексных крупнообъемных золотоглиноземных месторождений. В рудном поле Чапского объекта установлена флюидизатная трубка взрыва. Севернее, в бассейне р. Подкаменная Тунгуска с такой трубкой связывается находка кристалла алмаза. Предлагается изучить Чапскую трубку и провести поиски аналогичных трубок в полях Чапского и Тырадинского объектов.

Ключевые слова: метасоматические кварциты, флюидизатные трубки, алмазы, андалузит, хлоритоид, золотоносность, крупнообъемные месторождения золота.

PROSPECTS FOR ALUMINA, GOLD, AND DIAMONDS SEARCHING IN THE CHAPA – TYRADA INTERSTREAM AREA IN THE NORTH OF THE YENISEI RIDGE (KRASNOYARSK TERRITORY)

G. N. Cherkasov

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

The preliminary study of the Chapa and Tyrada objects of metasomatic (secondary) andalusite-chloritoid quartzite as a source of alumina has revealed that aluminous quartzites are amenable ore containing 31.0% and 35.2% aluminous minerals (andalusite, chloritoid, and margarite), respectively. The ores can be surface mined and easily dressed. The explored part of the Chapa object contains 551 mln tonnes of P_2 ore resources. Besides, the quartzites are gold-bearing (0.3–1.0 g/t), and Au resources exceed 250 tonnes. The objects can be granted the status of a complex bulk gold-alumina deposit. A fluidized diatreme was discovered in the Chapa object ore field. To the north, in the Podkamennaya Tunguska River basin, a diamond crystal discovery was associated with such a diatreme. The author suggests surveying the Chapa diatreme for gold and diamonds and searching for similar diatremes in the fields of the Chapa and Tyrada objects.

Keywords: metasomatic quartzites, fluidized diatremes, diamonds, andalusite, chloritoid, gold mineralisation, bulk gold deposits.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6c-119-126

Производство алюминия – процесс энергоемкий, а основные производители энергии сосредоточены в Сибири (Саяно-Шушенская, Братская, Усть-Илимская, Иркутская, Богучанская ГЭС), поэтому ввод их в эксплуатацию почти всегда сопровождался строительством сопутствующих алюминиевых заводов. На базе Саяно-Шушенской ГЭС функционируют Красноярский (КраАЗ) и Саянский (САЗ) алюминиевые заводы; на базе Богучанской – Богучанский (БогАЗ), ориентированный на производство 500 тыс. т глинозема с получением из него 250 тыс. т алюминия; Братской и Усть-Илимской ГЭС – Братский алюминиевый завод (БрАЗ); Иркутской ГЭС – Шелеховский глиноземно-алюминиевый завод (ИркАЗ). Общий недостаток в инфраструктуре производства алюминия в Сибири – отсутствие подготовленной базы глиноземного сырья. Все алюминиевые заводы работают в основном на привозном сырье, и часто из дальнего зарубежья. Так, КраАЗ

только на 15% обеспечен местным глиноземным сырьем с Ачинского ГК, производящего глинозем из нефелиновых сиенитов Кия-Шалтырского месторождения, примерно на 10% – привозным из европейской части России, а остальное – поставки из дальнего зарубежья, включая Гвинею (Африка). Ясно, что это заметно увеличивает себестоимость производимого алюминия и снижает его конкурентную способность на мировом рынке.

Потенциальная сырьевая база для БогАЗа – приангарско-чадобецкие мезозойские бокситы, общие запасы и ресурсы которых оцениваются в 102,15 млн т, из них около 58 млн т – запасы по категориям $A+B+C_1$ и C_2 . Бокситы локализованы в виде мелких (0,5–3,0 млн т) месторождений, разбросанных на большой территории и не всегда залегающих в благоприятных для добычи горно-технических условиях. Для отработки таких месторождений и вывоза руды к обогатительной фабрике

в Богучанах необходимо построить более 1000 км автодорог. Однако, даже если удастся использовать ресурсы этих бокситов полностью, то их хватит лет на 12–15, и только для БогАЗа, КраЗу уже ничего не достанется. К тому же от производства глинозема из бокситов страдает экология в связи с большим количеством отходов (кремнисто-железистых шлаков).

В то же время в Сибири известно около 120 месторождений и проявлений высокоглиноземистых пород, из которых самая перспективная для промышленного освоения – это группа андалузитовых, силлиманитовых, дистеновых, андалузит-хлоритидных вторичных кварцитов, образующих единую, часто комплексную золотоглиноземную формацию. Ресурсы ее составляют более 30 млрд т глиноземных, часто золотоглиноземных руд, при этом ресурсы в них золота – не одна тысяча тонн.

Находки кристаллов алмазов на Енисейском краже в аллювии р. Большой Пит известны с конца XIX в. Попытки найти их кимберлитовой коренной источник пока успехом не увенчались, да скорее всего и не увенчаются. Дело в том, что Енисейский край, Урал и Алтае-Саянская складчатая область являются консолидированными складчатыми структурами, глубина разломов в этапы тектономагматической активизации достигала 100–200 км (базальтовая оболочка литосферы), поэтому алмазообразование связано с проявлением щелочного контрастного габбро-гранитного магматизма. На платформах в периоды тектономагматической активизации глубина разломов достигала 200–400 км, поэтому фиксируется и проявление щелочного ультрабазитового магматизма, в том числе и кимберлитового [8, 9].

Перспективы организации сырьевой базы на основе небокситовых глиноземных руд

Благоприятные условия для создания стабильной и долгосрочной минерально-сырьевой глиноземной базы Красноярского и Богучанского алюминиевых заводов сложились на севере Енисейского края, в пределах планировавшегося в свое время Северо-Енисейского центра экономического развития (ЦЭР) в Красноярском крае. Он занимает площадь междуречий Вороговки – Кутукаса – Тырады – Чапы и перспективен на железо, марганец, фосфор, хром, уран, золото рудное и россыпное и небокситовое глиноземное сырье (рис. 1).

В 1983 г. мною был установлен Чапский объект (участок) (около 12 км²) андалузит-хлоритидных кварцитов, расположенный по обоим берегам р. Чапа и в левобережье р. Кедровая (рис. 2). Исследована только его юго-восточная часть площадью 3 км²: составлен геологический план объекта в м-бе 1:10 000, отобрано около 150 проб, изучены петрография, минералогия и геохимия руд. Руды представляют собой андалузит-хлоритидные метасоматические (крайний член березитовой фазы) (вторичные) кварциты мощностью 45,5–92,5 м, залегающие в апикальной части интрузии татарско-аяхтинского

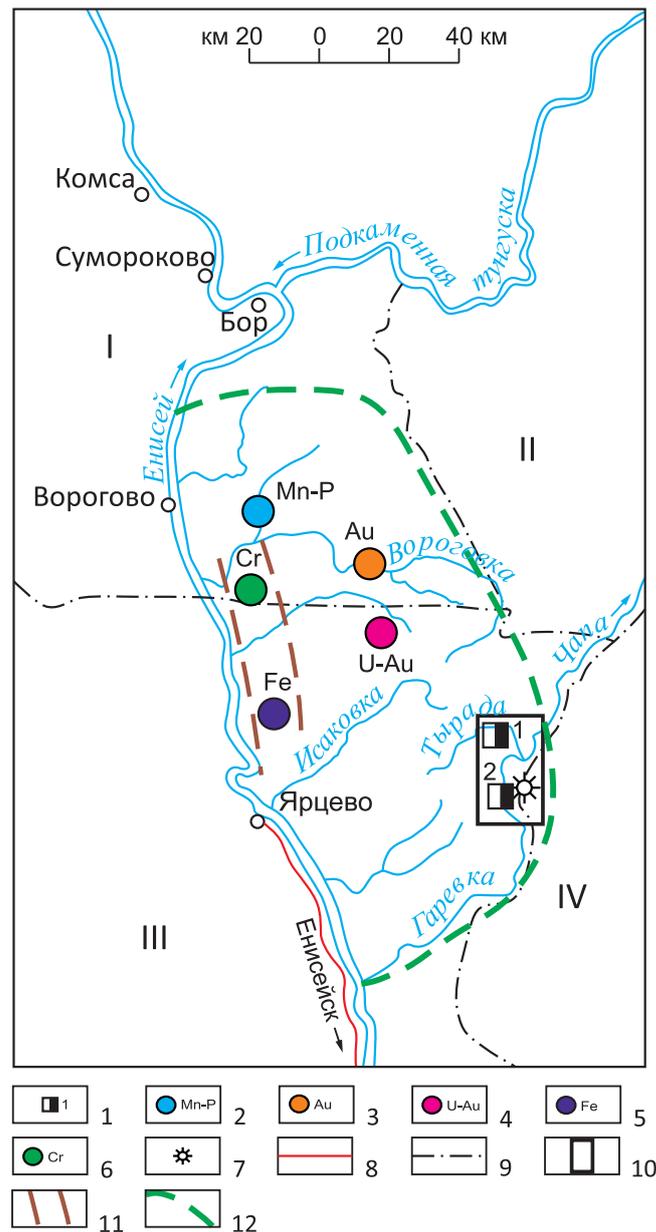


Рис. 1. Схема административного расположения Чапа-Тырадинской территории геологического доизучения

1–6 – рудные объекты: 1 – золотоглиноземные (1 – Тырадинский, 2 – Чапский), 2 – марганцево-фосфатные (Порожнинская группа), 3 – золоторудно-россыпные (Ольгинский золоторудный узел), 4 – золотоурановые (Кутукасский узел), 5 – железорудные, 6 – хромитовые; 7 – флюидизатная трубка взрыва; 8 – автомобильная дорога Енисейск – Ярцево; 9 – границы районов (I – Туруханский, III – Енисейский, IV – Северо-Енисейский; II – Эвенкийский национальный округ); 10 – Чапа-Тырадинская перспективная площадь; 11 – граница полосы Fe-Cr объектов; 12 – примерная граница Северо-Енисейского ЦЭР

гранитного комплекса (R₃). Сформировались они за счет переработки мраморизованных известняков и черно-серых кристаллосланцев пенченгинской свиты и кристаллических сланцев кординской (PR₁), преобразовавшей их в белые андалузит-мусковитовые (парагонитовые) метасоматические кварциты. Последние подверглись диафорезу во время становления средневороговской интрузии щелочно-

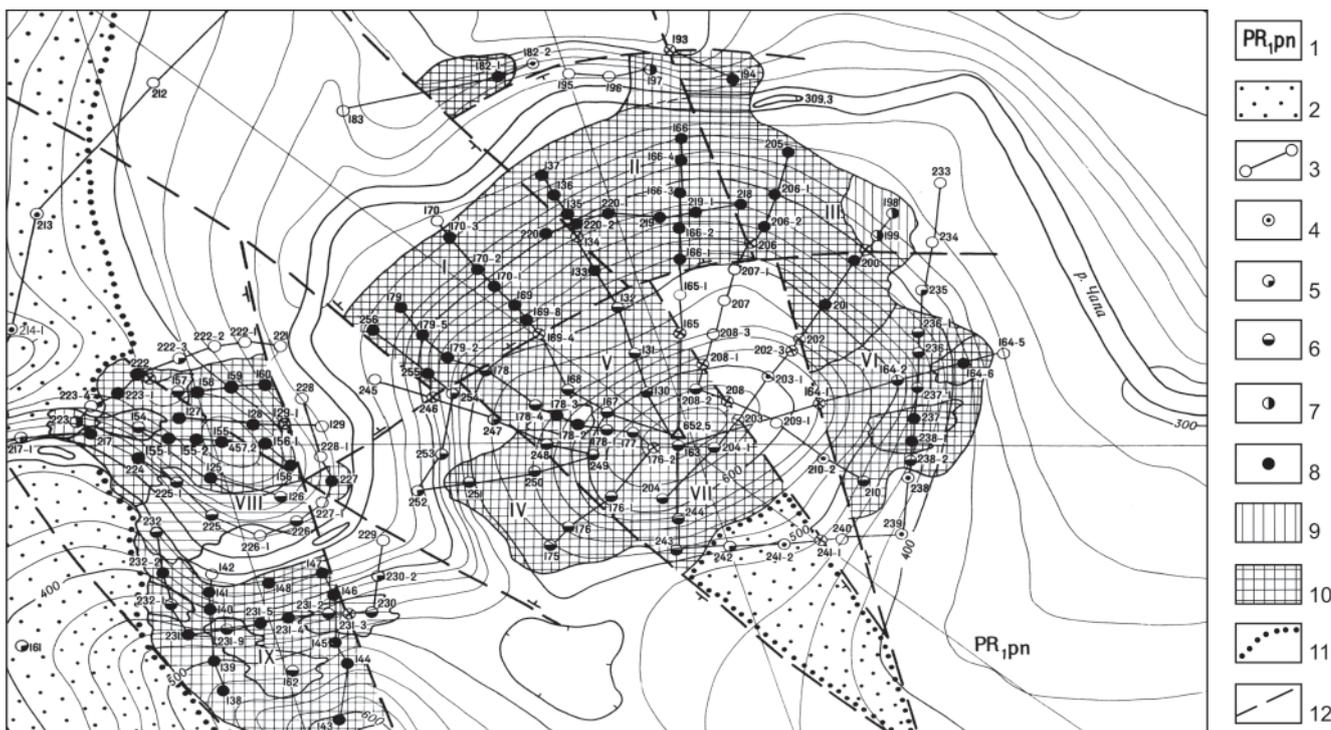


Рис. 2. Геологический план Чапского месторождения андалузит-хлоритоидных пород. Сост. Г. Н. Черкасов, 1984 г.

1 – пенченгинская свита: кварц-сланцевые сланцы с прослоями песчаников, мраморов, амфиболитов и диабазов; 2 – роговики с редкими прослоями кварцитовидных песчаников и маломощных мусковит-серицитовых пород; 3 – маршруты с редкими наблюдениями и их номера (незакрашенный кружок – кварц-сланцевые сланцы без андалузита и хлоритоида); 4 – единичные кристаллы андалузита; 5 – андалузита менее 5%; 6 – андалузита 5–25%; 7 – хлоритоида свыше 5%; 8 – андалузита 5–25%, хлоритоида 5–45%; 9 – поля распространения пород: 9 – хлоритоидных, 10 – андалузит-хлоритоидных; 11 – граница распространения роговиков; 12 – разломы

гранит-сиенитового комплекса (V_1), превратившись в промышленно ценные глиноземные руды. На объекте выделены два рудных участка – Левобережный и Чапский. Рудное поле последнего разбито на шесть блоков, по четырем из них и по диафоритам Левобережного участка автором подсчитаны прогнозные ресурсы руды – 551 млн т по категории P_2 . Среднее содержание в рудах (вес.%) Al_2O_3 24,0 (20,22–30,89), SiO_2 56,0 (45,5–59,3), TiO_2 0,6, Fe_2O_3 общ 7,4, K_2O+Na_2O 4,3; полезных глиноземных минералов (%): хлоритоида 15–40, андалузита 2–10, маргарита 5–15. Сумма этих минералов составляет в рудах около 31,6%, что позволяет считать их кондиционными и пригодными для переработки на глинозем.

Лабораторные технологические исследования по обогащению и переработке руд на глинозем проводились на технологической пробе весом 40 кг в Институте металлургии и обогащения АН КазССР под руководством Л. П. Ли. Исходный химический состав технологической пробы содержал (вес.%) SiO_2 45,77, Al_2O_3 29,84, TiO_2 0,79, Fe_2O_3 2,55, FeO 6,03, MnO 0,12, $CaO+MgO$ 4,08, Na_2O+K_2O 5,31. Гравитационно-флотационное обогащение руд позволило получить концентрат (выход около 31%), состоящий в основном из хлоритоида, андалузита и маргарита и содержащий (вес.%) SiO_2 30,58, Al_2O_3 34,28, CaO 0,85, Na_2O+K_2O 0,80, Fe_2O_3 24,37, а также слюдисто-кварцевый отсев около 68%. Гидрохимическим способом из рудного концентрата было из-

влечено 85–87% Al_2O_3 . В итоге подсчитано, что из 551,1 млн т руды можно получить 147,3 млн т рудного концентрата и извлечь из него 50,5 млн т Al_2O_3 . Этого глинозема хватило бы для стабильной работы $KpA3a$ с полной загрузкой в течение 25 лет [7].

В 10 км к северу от Чапского проявления расположено Тырадинское, установленное мною в 1985 г. Оно вытянуто в виде субмеридиональной полосы (1–2)×8 км и сложено метасоматическими андалузит-хлоритоидными вторичными кварцитами. Площадь его тоже около 12 км². Исследован только небольшой северный участок (4 км²), примыкающий к правому берегу р. Тырада и представляющий собой столовую вершину сопки высотой 205 м. Состав глиноземных пород Тырадинского объекта аналогичен таковому Чапского, но в нем не наблюдается замещения андалузита маргарит-мусковитом. Поэтому средний минеральный состав глиноземных пород Тырадинского объекта лучше, чем чапского (%): андалузит 17,60, хлоритоид 16,70, маргарит 0,90, (сульфидов в общей рудно-кремнистой массе 2–3%), и сумма глиноземных минералов тоже больше – 35,20%.

Средний химический состав руд и пределы его колебаний следующие (вес.%) SiO_2 56,14 (43,39–62,77), Al_2O_3 25,24 (20,64–33,12), TiO_2 0,63, Fe_2O_3 3,28, FeO 4,75, P_2O_5 0,05, MnO 0,09, $CaO+MgO$ 2,40, Na_2O+K_2O 3,53 [7].

На водоразделе Чапа – Тырада в толще метасоматических (вторичных) кварцитов по сланцам свиты



хр. Карпинского встречаются линзообразные горизонты черных с шелковистым блеском ставролит-слюдисто-графитистых сланцев с содержанием (вес.%) Al_2O_3 39,2 и SiO_2 42,0. Рентгенофлуоресцентным анализом на спектрометре Olympus InnovX в сланцах зафиксировано (г/т) S 590±147, Zr 278±6, Rb 229±3, Sr 116±3, Th 59±13, Ir 29±6. Сланцы радиоактивны и включают платиноид иридий. На правом берегу р. Тырада, в 10 км от устья в экзоконтакте с гранитной интрузией татарско-аяхтинского комплекса (R_3) располагается редкометалльное (Sn-Be) Тырадинское проявление, руды которого обогащены ураном.

По аналогии с Чапским прогнозные ресурсы по категории P_3 Тырадинского объекта составляют 242,7 млн т руды, из которой можно получить 84 млн т андалузит-хлоритоидного с маргаритом концентрата с содержанием глинозема 34,3 % и извлечь из него 29,5 млн т Al_2O_3 , что уже может обеспечить БогАЗ стабильной работой более чем на 50 лет.

Перспективы придания глиноземным метасоматическим кварцитам статуса комплексных золотоглиноземных крупнообъемных месторождений

Метасоматические глиноземные кварциты слабо сульфидизированы (1–2%) и представлены арсенопиритом, пиритом, изредка с примесью пирротина, галенита, сфалерита. В их рудном поле встречаются кварцевые жилы мощностью 0,2–0,5 м и редкие дайки крупнокристаллических кварц-ортоклаз-турмалиновых пегматитов мощностью 0,5–1,0 м. Бессистемное редкое опробование общей массы вторичных кварцитов на золото показало содержания в них (атомно-абсорбционный метод) Au 0,03–0,6 г/т, в кварцевых жилах – 0,3–1,0 г/т, в пегматитовых дайках – 3–5 г/т. По расчетам среднее содержание Au на массу вторичных кварцитов объекта составляет 0,5 г/т. Концентрация золота вроде бы низкая, но громадный объем массива андалузит-хлоритоидных вторичных кварцитов говорит о том, что на Чапском объекте мы можем иметь дело с крупнообъемным золоторудным месторождением, только в исследованной части которого сконцентрировано более 250 т Au. В то же время данный объект интересен как месторождение промышленно ценного глиноземного сырья, т. е. является комплексным.

При обогащении глиноземных кварцитов получают концентрат из глиноземных минералов и слюдисто-кварцевый отсев, составляющий 2/3 от общего объема кварцитов. Именно в нем оказывается практически все золото кварцитов, содержание его возрастает до 0,5–0,8 г/т (среднее 0,62 г/т).

Спектральными приближенно-количественными анализами (в аналитической лаборатории СНИИГиМС) в золотоглиноземных кварцитах установлено, что суммарное содержание 13 редкометалльных элементов (Ag, As, Be, Bi, Co, Ge, Li, Mo, Nb, Sn, Sr, Zr) составляет 779,6 г/т, а 7 редкоземельных

(B, Ce, Ga, La, Sc, Y, Yb) – 299,4 г/т; кларк концентрации мышьяка в золотоносных кварцитах колеблется от 7,84 до 127,45 – в 65 раз выше, чем в земной коре. И именно с мышьяком в форме арсенопирита часто связываются концентрации золота.

Интерес к месторождениям золоторудных метасоматических кварцитов подогревается успешной разработкой на Аляске гигантского крупнообъемного месторождения Форт Нокс (запасы Au более 350 т), из золотокварцевых метасоматитов которого в 2003 г. добыто 12 т Au при среднем его содержании 0,87 г/т. Аналог Форт Нокса – крупнообъемное месторождение Раунд Маунтин в Неваде (США), запасы которого более 500 т Au. Из его руд (содержания Au 0,8–1,0 г/т) кучным выщелачиванием с использованием цианидов ежегодно добывается 23 т золота [3]. Процесс это медленный, поэтому технологи добавляют к цианидам аммиак, позволяющий его ускорить на 30–40% и сделать добычу золота рентабельной.

Метасоматические (вторичные) кварциты Тырадинского проявления на золото не проверялись, но в северной части участка, где р. Тырада пересекает кварцитовую залежь, в шлихах из руслового аллювия реки отмечается присутствие знаков золота, а значит, рудное золото в кварцитах должно быть.

Немаловажно, что потенциальные месторождения золотоглиноземных метасоматических кварцитов и березитов образуют довольно хорошо обнаженные положительные формы рельефа (сопки, хребты), создавая благоприятные горно-технические условия для дешевой открытой карьерной отработки будущих месторождений. Компактное расположение участков золотоглиноземных кварцитов позволяет планировать строительство ГОКа для получения концентратов глиноземных минералов и обогащенного золотом слюдисто-кварцевого отсева, а также переработку концентрата на глинозем (Al_2O_3) гидрохимическим способом. Здесь же можно строить и золотоизвлекательную фабрику (ЗИФ) для кучного выщелачивания золота из слюдисто-кварцевого отсева. Такая промплощадка может быть расположена в левобережье р. Тырада, в 5 км выше ее устья, как раз посередине между Чапским и Тырадинским месторождениями. Главное, необходимо построить от 530 до 900 км (по разным вариантам) бетонно-асфальтовых дорог, чтобы связать Чапско-Тырадинскую промплощадку с пос. Епишино (370 км), или с пос. Ярцево (80 км) на р. Енисей, или с пос. Богучаны (460 км) на р. Ангара. Около 500 км дорог имеется, но они грунтовые, хотя в основном с автобусным сообщением, и вдоль них по всему Енисейскому краю располагаются горно-рудные предприятия, а в советское время функционировали и леспромпхозные.

Перспективы алмазности территории

В Чапском рудном поле в 1984 г. мною на склоне г. Чапа (абс. отм. 652,5 м) установлена необычная трубка взрыва – флюидизатная. Это продукт бы-

строго движения расплава, погруженного в газовый флюид, обладающий аномально высоким пластывым давлением и вызывающий ликвационное расслоение флюида с образованием шариковых или овальных (саговых) форм, сцементированных этим же затвердевшим расплавом при становлении со взрывом в конце процесса. Внедрение флюидизата уничтожило блок в форме треугольника (см. рис. 2) андалузит-хлоритоидных руд, подняв его почти на 90–95 м и обнажив основание толщи рудных кварцитов, сложенной кварцем, кордиеритом и серицитом. По тектоническому контакту поднятого рудного блока с основным рудным полем внедрились две апофизы трубки взрыва (рис. 3), зафиксированные на склоне горы примерно в 15 м друг от друга и выведенные эрозией на дневную поверхность. Судя по апофизам, трубка взрыва сложена в кровле на 70–80% серыми и светло-серыми с желтоватым оттенком кварцевыми шариками, которые сцементированы поровым кремнистым цементом, тонко пропыленным сульфидами. В апофизе, расположенной выше по склону, шарики диаметром 0,6–0,8 см («шрапнельные»), во второй апофизе, ниже по склону шарики помельче – 0,4–0,5 см («картечные»). По техническим причинам сразу исследовать трубку не удалось, а потом не было финансовой возможности вернуться в этот район.

Необходимость все же изучить ее возникла спустя несколько лет. Еще в 1966 г. я проводил маршрутные геолого-поисковые работы на правых притоках р. Подкаменная Тунгуска, в ее среднем

и нижнем течении и в русловом аллювии р. Дулькиума (правый приток р. Столбовая), в 6 км выше устья на отрезке 0,3 км (обнажений по реке нет) среди обломков нижнесилурийских (венлокских) известняков, составляющих около 90% терригенного материала берегового делювия. Там я обнаружил несколько обломков. Это были как одиночные кварцевые шарики, так и группы из нескольких (2–4) шариков, соединенных кремнистым цементом (рис. 4). Кварцевые шарики (буровато-серые, диаметром 0,6–0,8 см) больше нигде по рекам не попадались. Здесь же был взят на шлиф случайный обломок силурийского тоннокристаллического, но пористого, графитизированного известняка, такого, словно сквозь него пропустили газовый углеродистый поток. При изготовлении прозрачного шлифа обнаружилось, что в известняке включено какое-то инородное тело, которое при доводке шлифа порезало всю матерчатую подложку с нанесенной на нее абразивной пастой. Сначала решили, что это включение корунда, который иногда встречался в тяжелой фракции местных пород, и недоделанный шлиф отложили в «долгий ящик». Спустя четыре года он вновь попался мне на глаза, я решил все же взглянуть на него под микроскопом и обнаружил, что мнимый корунд имеет прекрасно выраженную кубическую форму, несвойственную корунду, но вполне присущую алмазу, бесцветному, прозрачному, как «божья слеза», без включений, размером 0,3×0,4 мм (рис. 5). Сквозь него хорошо просматривался известняк, в котором он был заключен. С по-

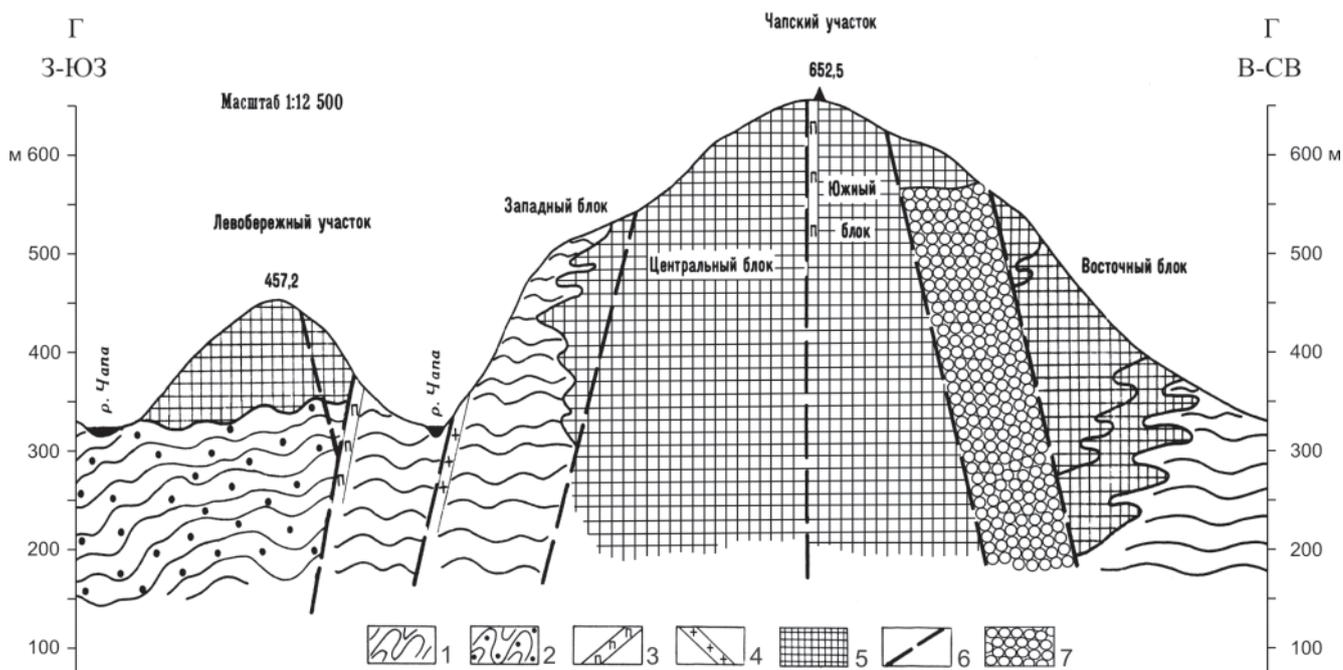


Рис. 3. Геологический разрез Чапского месторождения (Чапский участок: Северо-Западный, Центральный и Южный блоки андалузит-хлоритоидных пород). Сост. Г. Н. Черкасов, 1984 г.

1 – интенсивно дислоцированные кристаллические сланцы, кварциты, роговики с прослоями песчаников, мраморов, диабазов и амфиболитов пенченгинской и кординской свит; 2 – роговики по перечисленным породам; 3 – дайки мусковитовых с турмалином пегматитов; 4 – жилы гранитов; 5 – высокоглиноземистые андалузит-хлоритоидные породы; 6 – разломы; 7 – предполагаемое место в разрезе флюидизатной трубки взрыва

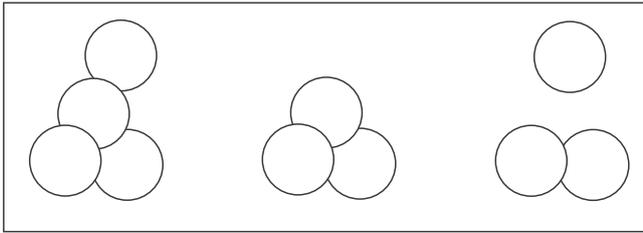


Рис. 4. Кварцевые шарики из руслового аллювия р. Дулькума правого притока р. Столбовая (бассейн низовьев р. Подкаменная Тунгуска)



Рис. 5. Кристалл алмаза кубической сингонии в силурийском (S₁w) (светлое поле) известняке, проработанном газовым флюидом и пропыленным углеродистым веществом (черные включения), р. Дулькума, Туруханский район Красноярского края. Фото шлифа в проходящем свете. Ув. 100

мощью соляной кислоты кристалл извлекли из шлифа опустили в пробирку, наполненную водой, где он благополучно мгновенно исчез из поля зрения, что доказало – это именно алмаз.

Сейчас в бассейне р. Столбовая государственный заповедник, поэтому провести геологические работы там невозможно, а значит, обнаруженная на р. Чапа трубка взрыва, сложенная кварцевыми шариками, становится важным научно-исследовательским объектом. При разведке алмазоносной трубки «Мир», локализованной в нижнепалеозойских карбонатных породах, установлено, что в экзоконтакте ее мощностью до 10 м во вмещающих карбонатных породах зафиксированы кристаллы алмазов, которые потом были учтены при подсчете запасов [1]. Шариковые формы кварца в сульфидно-кварцевом цементе псевдоконгломератов золотоалмазных рифов Витватерсранда зафиксированы Д. И. Царевым [6], который полагает что это продукты метасоматоза, а А. А. Маракушев и др. [5] считают их ликвационными образованиями в кварцевом расплаве. В Австралии, в районе Восточного Кимберли известна лампроитовая трубка АК-1 (Аргайл) с промышленной алмазоносностью, прорывающая протерозойские осадочные породы и имеющая среднепротерозойский возраст. Большая часть трубки сложена песчаным туфом, который на 30–50% заполнен кварцевыми шариками [4]. В верхних частях многих кимберлитовых трубок на Сибирской платформе (в пределах зоны «желтой земли») присутствует золото, содержания которого достигают 3,2г/т [2]. Возможно, по этой причине в алмазных россыпях Якутии всегда имеется попутное золото. Безусловно, на р. Дулькума тоже должна существовать трубка, сложенная кварцевыми шариковыми породами, обломки которых были обнаружены в береговом делювии реки. Локализована

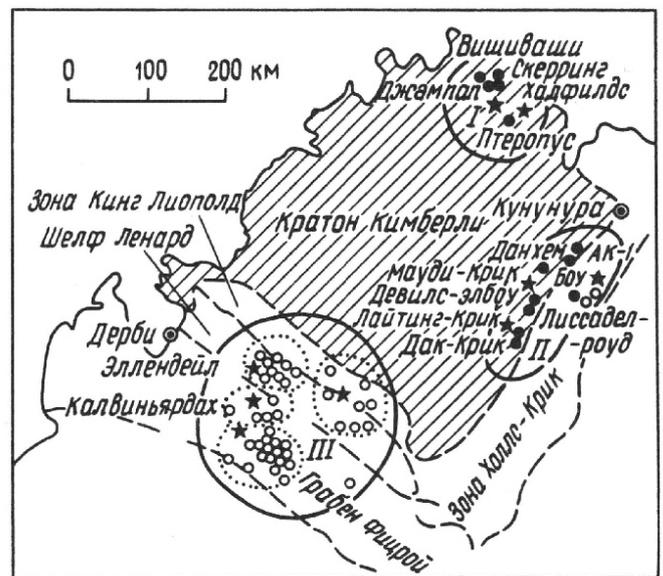
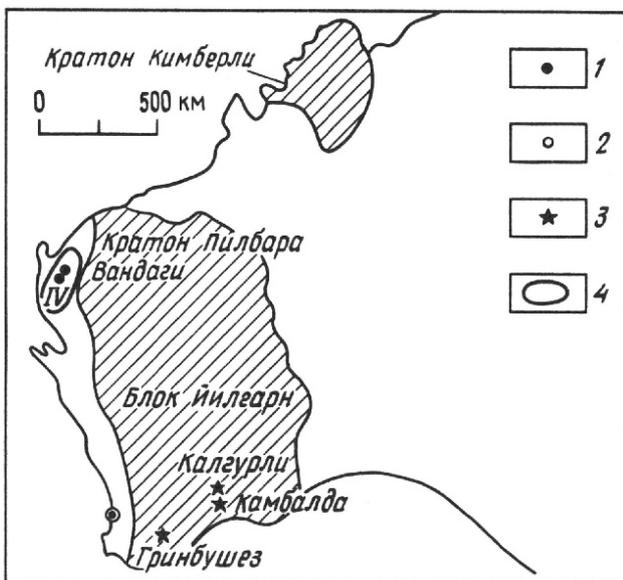


Рис. 6. Алмазоносные провинции Западной Австралии [7]

1 – кимберлиты; 2 – лампроиты; 3 – алмазы; 4 – районы распространения алмазов: I – Северный Кимберли; II – Восточный Кимберли (Аргайл), III – Западный Кимберли, IV – Вандаги

она, скорее всего, в известняках венлока (S_1). Зато такая же трубка взрыва из кварцевых шариков установлена в коренном залегании на р. Чапа, в рудном поле Чапского месторождения андалузит-хлоритовидных пород. По аналогии с псевдоконгломератами Витватерсранда породы трубки первоначально могли представлять собой магматический кремнистый расплав, подвергшийся процессу ликвации. Это пока первая трубка подобного типа в Сибири, поэтому она должна быть обязательно изучена. Возможно, одинаковая природа рудных псевдоконгломератов Витватерсранда и шариковых образований чапской трубки, дает основание предположить, что она может быть обогащена теми же полезными минералами, что и рудные рифы Витватерсранда. Площадь междуречья Чапа – Тырада около 120 км², из которых почти треть приходится на глиноземные и золотоносные метасоматические кварциты, так что не исключено, что здесь эта трубка не единственная. В поле кратона Кимберли (Западная Австралия) и в зонах его сочленения с консолидированными складчатыми областями располагаются кимберлитовые и лампроитовые поля [10]. Как видно из рис. 6, трубки встречаются обычно в виде продуктивного поля. И в нашем случае должна быть не одиночная трубка, а продуктивное их поле.

Золотоглиноземные руды и алмазы представляют собой продукты становления щелочных и щелочно-земельных гранитных интрузий татарско-аяхтинского (R_3) и средневогоровского (V_1) щелочно-гранит-сиенитового комплексов. Причем для щелочных гранитов и лейкогранитов последнего комплекса характерна циркон-сфен-апатит-магнетит-флюоритовая ассоциация акцессориев, среди которых встречаются фергусонит, колумбит, пироксид, монацит, молибденит, золото и муассанит (CSi). Наличие муассанита свидетельствует о формировании в очаге гранитизации флюида высокого давления, способного генерировать в продуктах окончательной ликвации расплава саговые или шариковые формы кварца в сульфидно-кремнистой матрице, часто золото- и алмазоносной, поэтому муассанит можно рассматривать как индикатор вероятного присутствия в продуктах ликвации расплава и в экзоконтактовых метасоматитах алмазов.

Выводы

Из всего вышеизложенного по перспективам рудных площадей междуречья Чапа – Тырада несомненно следующее:

- требуется провести геологическое доизучение этой территории на золото, алмазы, и глиноземные руды;
- провести опробование и минералого-петрографическое изучение рудных площадей Чапского и Тырадинского объектов, полностью оконтурить рудные площади и подсчитать ресурсы по категориям P_2 и P_3 ;

- разработать технологию переработки глиноземных руд Тырадинского объекта и усовершенствовать технологию переработки руд Чапского;

- изучить золотоносность глиноземных кварцитов с целью придать им статус комплексных золотоглиноземных крупнообъемных рудных объектов;
- необходимо для научных и практических целей исследовать состав флюидизатной Чапской трубки, ее потенциальную золото- и алмазоносность, а также провести поиски аналогичных трубок в изучаемом междуречье.

Вместе рассматриваемые объекты могут полностью решить проблему сырьевой глиноземной базы для КраЗа и БогЗа на 40–50 лет. К тому же это послужит толчком для развития Северо-Енисейского ЦЭР и к строительству бетонно-асфальтовых дорог (не исключено, что и железной) от Северо-Енисейского ЦЭР до пос. Богучаны и пос. Ярцево. Такие дороги давно необходимы, поскольку они свяжут все экономически развитые территории Енисейского края с промышленными предприятиями краевого центра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Боткунов А. И.** К вопросу закономерностей распределения алмазов в трубке «Мир» // Труды совещания по геологии алмазных месторождений Якутии. – Якутск: ЯФ СО РАН, 1961. – С. 51–52.
2. **Брагин Ю. Н., Сидякина Г. Г.** Золото в кимберлитах и его извлечение биореагентами // Прогнозирование и поиск коренных и россыпных алмазных месторождений: матер. 2-й Междунар. конф. – Киев: УкрГГРИ, 2006. – С. 321–324.
3. **Волков А. В., Сидоров А. А., Гончаров В. И.** Большеобъемные месторождения золота Северо-Востока России // Рудогенез и металлогения Востока Азии: матер. конф., посвящ. 100-летию д. г.-м. н. Б. П. Флерова. – Якутск, 2006. – С. 25–28.
4. **Каминский Ф. В.** Новый тип коренных месторождений алмазов // Разведка и охрана недр. – 1988. – № 5. – С. 57–62
5. **Проблема** происхождения ураново-рудного месторождения Витватерсранд / А. А. Маракушев, Л. И. Глазовская, Н. А. Панеях, С. А. Маракушев // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. – 2012. – № 3. – С. 3–16.
6. **Царев Д. И.** Металлоносные псевдоконгломераты Витватерсранда // Руды и металлы. – 2000. – № 3. – С. 70–82.
7. **Черкасов Г. Н.** Андалузит-хлоритовидное оруднение междуречья Чапы и Тырады севера Енисейского края // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири (матер. науч.-практ. конф., Красноярск 29–31 марта 2011 г.). – Красноярск, 2011. – С. 132–138.
8. **Черкасов Г. Н.** Перспективы алмазоносности консолидированных складчатых горных сооружений на примере Алтае-Саянской складчатой области и сопредельных территорий // Прогнозирование



и поиск коренных и россыпных алмазных месторождений: матер. 2-й Междунар. конф. – Киев: УкрГГРИ, 2006. – С. 126–132.

9. **Черкасов Г. Н.** Эволюция основных тектонических структур литосферы и идеология их алмазности // Вулканизм, биосфера и экологические

проблемы: сб. матер. IV Междунар. конф. – Туапсе, 2006. – С. 24–27.

10. **Atkinson W. J., Hughes F. E., Smith C. B.** A review of the kimberlitic rocks of Western Australia // Proc. of the 3rd Int. Riv. Conf., Amsterdam. – 1984. – Vol. 1. – P. 195–224.

© Г. Н. Черкасов, 2017



БАЗА ХРОМОВОГО СЫРЬЯ СИБИРИ (В ПРЕДЕЛАХ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА)

С. С. Долгушин, В. В. Жабин, И. Ю. Лоскутов, О. Г. Садур

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

В связи с распадом СССР и потерей Кемпирсайского месторождения в РФ образовался дефицит хрома, удовлетворяемый за счет импорта. Это и привело к необходимости укрепления собственной базы хромового сырья, в том числе и за счет Сибири. Однако в Сибири специализированных работ на хромиты не проводилось, а имевшиеся сведения о них были получены в основном при проведении геологических съемок. Это не позволяло обоснованно оценить ресурсный потенциал региона. В начале 2000-х гг. производственными организациями и научными учреждениями выполнялись работы по изучению хромовой минерализации. В частности, в СНИИГГиМС проведены анализ и обобщение предыдущих работ, а также математическое моделирование данных грави- и магнитных полей по ряду хромитоносных массивов. В результате установлено, что на выявление месторождений с промышленно значимым оруденением перспективны 13 массивов с суммарными прогнозными ресурсами 185,07 млн т. Однако в связи со слабой изученностью в Сибири пока не обнаружено ни одного месторождения, хотя имеются предпосылки, что в результате целенаправленных работ возможно открытие мелких и даже средних месторождений, способных обеспечить потребности сибирской металлургической промышленности.

Ключевые слова: месторождения, хромит, ресурсы, хромитовое сырье, гипербазиты.

CHROME RESOURCE BASE OF SIBERIA (WITHIN THE SIBIRIAN FEDERAL DISTRICT)

S. S. Dolgushin, V. V. Zhabin, I. Yu. Loskutov, O. G. Sadur

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

Due to the brake up of the Soviet Union and the loss of the Kempirsayskoye deposit, the Russian Federation has suffered from a deficit of chrome, which was compensated by import. This caused the need for reinforcement of own chrome resource base at the expense of Siberia as well. Although, there has never been any special exploration for chromites in Siberia, and available data on them have been obtained from geological survey. This fact made it impossible to soundly appraise the resource potential of the region. Early in 2000s, producers and research institutions studied chrome mineralisation. In particular, SNIIGGiMS analysed and summarised previous works, as well as carried out mathematical modelling of data on gravity and magnetic fields from a number of chromite-bearing massifs. As a result, it was established that there are some prospects for discovering commercial deposits with total predicted resources of 185.07 mln t in 13 massifs. However, due to poor exploration maturity of Siberia, not a single deposit has been discovered yet, but dedicated works may result in discovery of small and even medium deposits that could meet the demands of the Siberian metallurgical industry.

Keywords: deposits, chromite, resources, chromite raw materials, ultrabasite.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6c-127-138

Общие положения

Хром относится к группе черных металлов и по промышленной значимости стоит в одном ряду с железом, титаном и алюминием. Основная область его применения – это металлургическая промышленность, где он используется для получения высококачественных сталей и антикоррозионных покрытий. В бывшем СССР потребности промышленности полностью удовлетворялись хромитовыми рудами двух действовавших месторождений – Сарановского в Пермской области и Кемпирсайского на Южном Урале (с прилегающими мелкими месторождениями). После распада СССР последнее месторождение осталось в Казахстане. Это и определило более чем 80 %-ную зависимость промышленности от импорта хромового сырья. В начале 2000-х гг. было доразведано и введено в эксплуатацию Центральное месторождение в Райизском гипербазитовом массиве на Полярном Урале. Ситуация с хромовым сырьем несколько улучшилась, но все равно больше поло-

вины сырья оставалось привозным, что недопустимо для такого важного стратегического сырья. Остро встал вопрос о необходимости резкого расширения собственной базы хромового сырья. С этой целью были расширены геолого-поисковые и тематические работы на хром, например, под патронажем ВИМС осуществлены ревизионно-поисковые работы по оценке хромитоносности ультраосновных массивов Сибири, Дальнего Востока, Южного и Среднего Урала. Территория Сибири оценивалась сотрудниками СНИИГГиМС. В настоящей статье изложены результаты работ института по оценке хромитоносности Сибири в пределах Сибирского федерального округа за 1998–2010 гг.

Изученность хромовой минерализации Сибири

В СССР гигантское Кемпирсайское месторождение хромитов обеспечивало потребности страны в хромовом сырье, потому и не было необходимости вести поиски новых его источников, тем более



в Сибири, в связи с чем и сформировалось соответствующее отношение к этой проблеме.

В Сибири при проведении государственных геологических съемок м-ба 1:200 000 было выявлено несколько сотен рудопроявлений хромитов, которые в большинстве случаев изучались лишь попутно без каких-либо специальных работ. В те времена ориентировались на открытие в Сибири лишь крупных месторождений, а перспектив этого, судя по предварительным данным геолого-съемочных работ, не имелось. Перспективы известных рудопроявлений оценивались визуальным экспертным путем, в связи с чем разные эксперты получали результаты, отличающиеся друг от друга в разы, даже на порядок (например, для Успенского рудопроявления на Салаире оценка составила от 1,0 до 15,0 млн т). В среднем ресурсы хромитовых руд Сибири тогда определялись суммарно не менее чем в 400 млн т, а ориентировочные ресурсы конкретных объектов – в среднем в 10 млн т. Для постановки разведочных работ тогда не было подготовлено ни одного проявления. В начале 2000-х гг. в СНИИГГиМС для отдельных хромитовых массивов, покрытых крупномасштабными (1:10 000–1:50 000) гравитационными и магнитными съемками, выполнено математическое моделирование, позволившее определить параметры рудоносных зон и уточнить перспективы хромитовой минерализации.

Работы по оценке хромитового сырья на огромной территории Сибири проводились в разное время разными организациями по разным методикам, видам и объемам, не было ни обобщения, ни составления единых сводок, потому общие перспективы хромитовосности Сибири представлялись весьма неоднозначными. Это отражено в Госбалансе: в разные годы ресурсы то ставили на баланс, то много раз корректировали, то вовсе снимали. В итоге в Госбалансе ресурсов по Сибирскому региону нет ни одного хромитовосного объекта.

Геологическая позиция хромитовосных гипербазитовых массивов

В Сибири хромовая минерализация промышленного типа связана только с гипербазитовыми массивами. Она представлена хромитом (Cr_2O_3) – порообразующим минералом ультраосновных пород из группы хромшпинелидов. В том или ином количестве хромиты всегда присутствуют в гипербазитовых массивах. Однако на практике хромитовосными считаются только те массивы, где минерал содержится в виде густой вкрапленности, штокверковых зон, жил или отдельных рудных тел и может представлять промышленный интерес.

Гипербазитовые массивы, в том числе и хромитовосные, – продукт мантийного магматизма. Они располагаются в региональных структурах цепочками вдоль глубинных (мантийных) разломов, образуя своеобразные гипербазитовые пояса протяженностью десятки или даже многие сотни километров.

Эти пояса содержат хромитовосные массивы, количество которых разное – от единиц до нескольких сотен, а размеры от мелких (первые квадратные километры) до крупных (сотни квадратных километров). Хромитовосны в поясе обычно лишь несколько массивов. В Сибири известно почти два десятка гипербазитовых поясов, но лишь в шести отмечены хромитовосные массивы.

Особенностью строения сибирских гипербазитовых поясов в сравнении с уральскими является то, что в Сибири в них содержится большое количество (в некоторых до сотни и более) массивов, но мелких, площадью не более 100 км² (на Урале площади отдельных массивов достигают 900 км²). А главное то, что даже самые крупные сибирские массивы менее продуктивны на хромитовую минерализацию. Вероятно, это связано с особенностями строения материнского мантийного слоя Земли, содержащего в разных районах разное количество хромшпинелидов, включая хромит как порообразующий минерал.

В ассоциациях ультраосновных пород выделяется несколько структурно-вещественных комплексов (СВК): лерцолитовый, гарцбургитовый, верлит-дунитовый и дунит-гарцбургитовый [7]. Не касаясь характеристики состава и строения СВК, достаточно полно описанных в многочисленных публикациях, отметим, что наиболее хромитовосным и промышленно значимым является дунит-гарцбургитовый тип, в составе которого преобладают дуниты, как главные рудоносные породы гипербазитов. Именно с дунитовой составляющей в Сибири и связаны наиболее значимые и перспективные рудопроявления хромитов (рис. 1).

Хромитовая минерализация Сибирского региона

Хромитовая минерализация в гипербазитовых массивах отмечена в Алтайском и Красноярском краях, Кемеровской и Читинской областях и Республике Тыва.

Алтайский край

Здесь находится Северо-Алтайско-Салаирский (Салаирский) гипербазитовый пояс, вмещающий пять хромитовосных гипербазитовых массивов, в пределах которых находится не менее 100 мелких (от 0,5–1,0 до 10–15 км²), только один Шалапско-Белининский крупнее (около 50 км²); из них хромитовосны только пять (Успенский, Тогул-Сунгайский, Шалапско-Белининский, Верх-Аламбайский и Уксунайский) [3, 4]. Массивы приурочены к зоне влияния глубинного разлома и в пределах Салаира образуют три различных ареала: Тогул-Сунгайский, Уксунайский и Мартыново-Шалапский (рис. 2). Все массивы этих ареалов залегают в метаморфизованных вулканогенно-осадочных рифей-нижнекембрийских толщах и имеют рифей-нижнекембрийский возраст [1, 6, 8]. Подавляющая часть массивов при резко выраженной акмолитообразной форме и крутом, вплоть до вертикального, залегании имеет тектонические контакты и представляет собой протрузии.

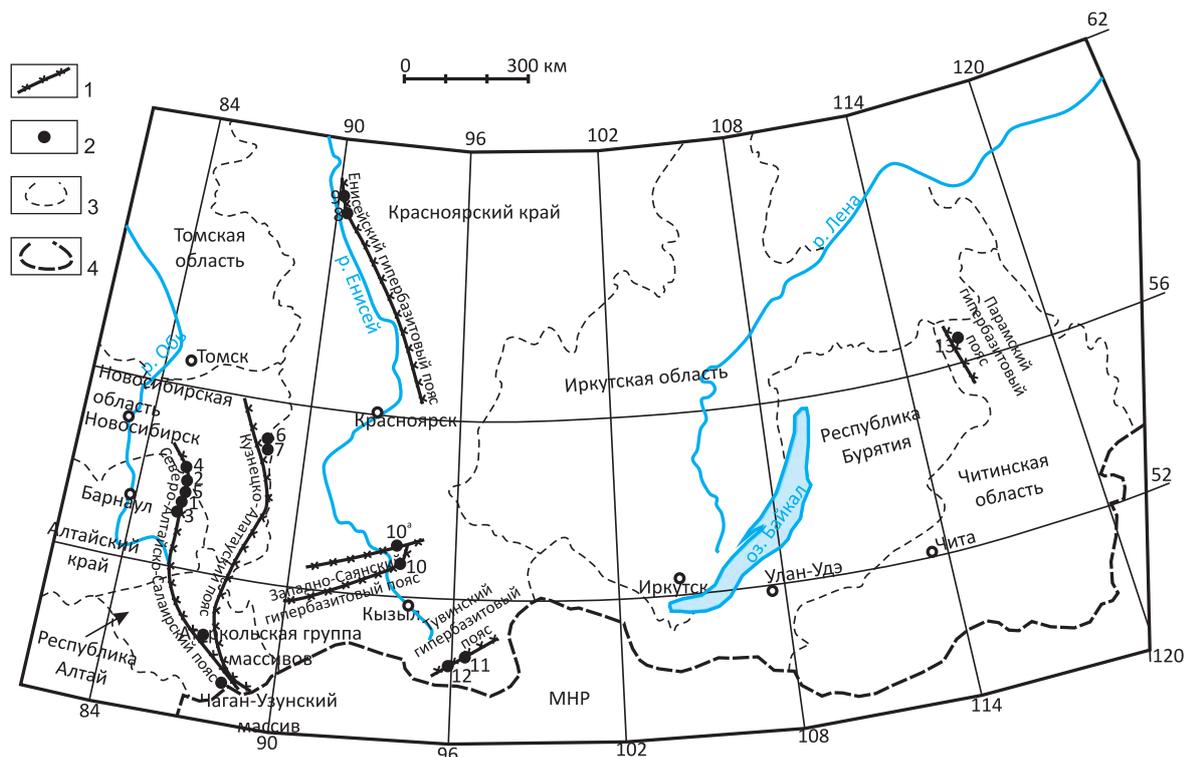


Рис. 1. Схема размещения хромитоносных гипербазитовых поясов Сибири в Сибирском федеральном округе 1 – гипербазитовые пояса; 2 – хромитоносные массивы дунит-гарцбургитовой формации: 1 – Успенский, 2 – Тогул-Сунгайский, 3 – Шалапско-Белининский, 4 – Верх-Аламбайский, 5 – Уксунайский, 6 – горы Бархатной, 7 – Среднетерсинский, 8 – Глубокинский, 9 – Березовский, 10 – Эргакский, 10^а – Калнинский, 11 – Агардагский, 12 – Улорский, 13 – Шаманский; границы: 3 – административная, 4 – государственная

В потенциальных полях мелкомасштабных съемок гипербазитовые массивы выражены по-разному. Так, в гравитационных полях они практически не проявляются, вероятно, из-за серпентинизации, понижающей их плотность до уровня вмещающих толщ. Однако в гравитационных полях крупномасштабных съемок в ряде массивов все же выделяются небольшие аномалии силы тяжести, используемые как критерии поисков дунитов – носителей хромитового оруденения.

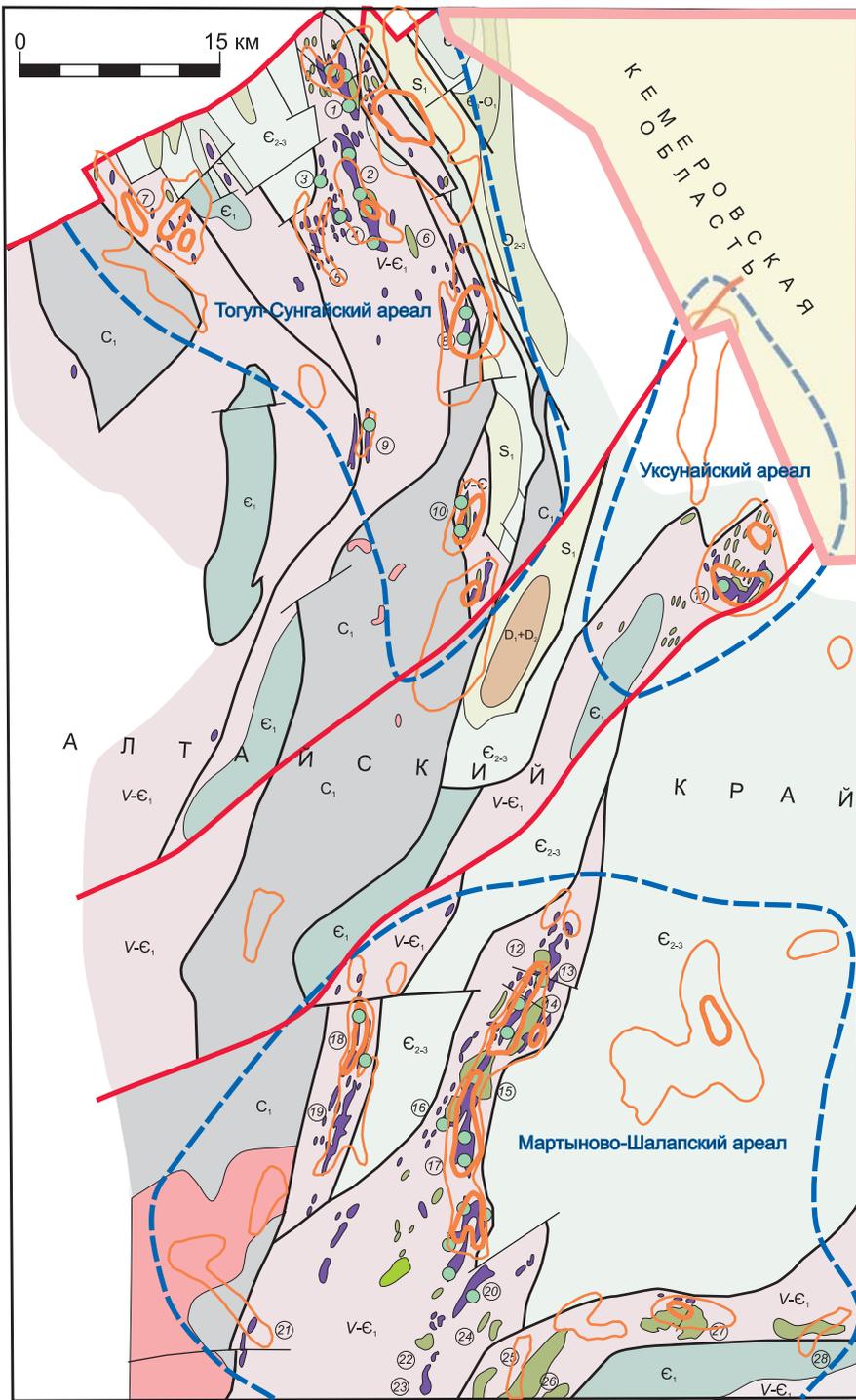
Хромитовая минерализация известна во многих, даже очень мелких массивах, но практическое значение она имеет только в указанных пяти. В результате проведенных разными организациями поисковых работ, а также выполненного в СНИИГГиМС математического моделирования гравитационных и магнитных полей, на них были определены ресурсы хромовых руд (22,62 млн т по категориям P_2 и P_3 и 0,11 млн т по категории P_1), но месторождений не выявлено.

Успенский гипербазитовый массив самый маленький (площадь 3 км², длина 6 км, ширина 0,5 км), но самый известный, так как именно в нем находится жила сливных хромитов (мощность 1–2 м, протяженность с перерывами до 200 м), вскрытая горными выработками. В нескольких скважинах на глубине 10–56 м в разных местах отмечено ее выклинивание. Тем не менее, несмотря на незначительный масштаб, на фоне других, более мелких, это рудопоявление кажется весьма привлекательным [1].

Успенский массив представляет собой типичную протрузию с крутыми тектоническими контактами. В его геологическом строении принимают участие в основном серпентиниты неопределимого состава, к которым и тяготеет хромитовое оруденение. По набору ультраосновных пород и характеру их распределения по массиву он относится к разряду дифференцированных объектов дунит-гарцбургитового СВК.

В результате работ (более 300 шурфов и 25 буровых скважин) в пределах массива выявлено пять хромитовых рудопоявлений. Оруденение представлено линейными (лентовидными) зонами, линзами мощностью не более 1 м, гнездами и шширообразными скоплениями густо- и средневкрапленных руд на площадях в первые квадратные метры. Реже встречаются сплошные руды в виде маломощных (первые сантиметры) прожилков и отдельных жил, наиболее мощная из которых (до 2 м, в раздувах до 3 м) создает известность этому рудопоявлению. В сплошных и густовкрапленных рудах содержание Cr_2O_3 изменяется от 47,63 до 51,55% ($Cr_2O_3/FeO = 2,6–2,7$ [1]), что по существующим требованиям позволяет отнести их к металлургическому типу.

Тогул-Сунгайский гипербазитовый массив также представляет собой типичную протрузию с крутыми контактами, имеет резко выраженную акмолитообразную форму. Его длина 12,5 км, ширина 0,5–1,7 км, площадь 12,5 км². По данным математического моделирования магнитного поля массив вы-



- Массив или район распространение интрузивных тел
- 1.Верх-Аламбайский гипербазитовый массив
 - 2.Таловский (Тогул-Сунгайский) гипербазитовый и габброидный массив
 - 3.Тягун-Таловский гипербазитовый массив
 - 4.Старотягунский гипербазитовый массив
 - 5.Тягунский гипербазитовый массив
 - 6.Северо-Тогульский район
 - 7.Новосольниковский район
 - 8.Успенский гипербазитовый массив
 - 9.Макарихинский гипербазитовый массив
 - 10.Глазыринский район
 - 11.Уксунайский гипербазитовый и габброидный массивы
 - 12.Александровский гипербазитовый массив
 - 13.Троицкий габброидный массив
 - 14.Бражихинский габбро-диоритовый массив
 - 15.Чумышский перидотит-пироксенит-габбровый массив
 - 16.Шалапский перидотит-пироксенит-габбровый массив
 - 17.Белинский гипербазитовый массив
 - 18.Новокамьшенский гипербазитовый массив
 - 19.Еландинский гипербазитовый массив
 - 20.Комсомольский гипербазитовый массив.
 - 21.Новопокровский район
 - 22.Верх-Яминский габбро-пироксенитовый массив
 - 23.Яминский гипербазитовый массив
 - 24.Верх-Шалапский габброидный массив
 - 25.Дроздовский габброидный массив
 - 26.Овсяниковский габброидный массив
 - 27.Поповический габброидный массив
 - 28.Ангурепский пироксенит-габбровый массив

Ареалы развития интрузивных тел – фрагментов крупных лакколлитов, Верх-Аламбайского комплекса дунит-гарцбургитовой формации

Изодинамы ΔTа

○ >200 гамм ○ >500 гамм

Рис. 2. Схема размещения гипербазитовых массивов дунит-гарцбургитовой формации Салаира

R_1-E_1	Верхний рифей – нижний кембрий. Эффузивы, сланцы, известняки	O_{2-3}	Средний – верхний ордовик. Песчаники, алевролиты, конгломераты		Граниты, граносиениты, диориты (D_2)
E_1	Нижний кембрий. Известняки	S_1	Нижний силур. Песчаники, алевролиты, конгломераты		a – разрывные нарушения
E_2	Средний кембрий. Песчаники, алевролиты, конгломераты	D_1+D_2	Нижний и средний девон. Известняки		b – геологические границы
E_{2-3}	Средний – верхний кембрий. Песчаники, алевролиты, конгломераты	Верхаламбайский дунит-гарцбургитовый комплекс E_1			Номер массива или района распространения интрузивных тел
E_3-O_1	Верхний кембрий – нижний ордовик. Песчаники, алевролиты, конгломераты		Серпентиниты, дуниты, гарцбургиты		Проявления хрома
			Пироксениты, габбро, габбро-диориты, диабазы		

клинивается на глубине 1,5–2,0 км. Сложен аподунитовыми (40%), апогарцбургитовыми (50%) и аподиопсидовыми (10%) серпентинитами, по периферии распространены мелкие тела пироксеновых габбро. В пределах этого массива известно 28 проявлений

хромита в коренном залегании и свалах, концентрирующихся в полосе протяженностью 7 км и шириной 200–1000 м. Руды массивные и полосчато-вкрапленные, по содержанию хрома от убогих до богатых. Они слагают линзо- и жилообразные будинирован-



ные тела мощностью 0,15–1,5 м, их прослеженная протяженность до 80 м. Содержание Cr_2O_3 в массивных рудах составляет 45,8–54,6 %, во вкрапленных – 20,4–56,61 %, $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO} = 2,5\text{--}3,3$, что определяет их принадлежность к металлургическому типу.

Существует кондиционная геологическая карта м-ба 1:10 000. Поскольку массив почти полностью задернован, она базируется на скважинных и горных выработках. Через массив проходят четыре картировочные линии из 69 буровых скважин с расстоянием между ними по линиям 20–50 м. Вне этих линий пробурены 12 скважин. Кроме того, через каждые 500 м массив пересечен 25 картировочными линиями шурфов и канав с расстоянием между выработками 40 м. На четырех детализационных участках дополнительно к основным картировочным линиям пройдено по 10 новых линий со сгущенными до 10 м выработками по ним, например, в пределах главного участка на г. Веселой, где, несмотря на столь плотную сеть горных выработок, руды в коренном залегании так и не были обнаружены, хотя в свалах они есть. Лишь в одном шурфе вскрыта жила хромитов мощностью 0,2 м и длиной 1,5 м. Только одна скважина на глубине 400 м вскрыла линзу хромитов мощностью 0,2–0,4 м (сплошные и густовкрапленные руды с содержанием окиси хрома 22,3–43,0 %), никак не выраженную на поверхности.

На всех рудопроявлениях руды в коренном залегании вкрапленного типа (от мало- до густовкрапленных), в жилах – сливные. В делювиальных свалах преобладают сливные руды. По данным горных выработок мощность вкрапленных зон до 1–2 м, редко больше, протяженность первые метры (с перерывами – первые десятки). Все рудопроявления (за исключением двух) находятся в южной половине массива, которая и считается наиболее перспективной.

Для этого массива имеются данные магнитной (1:10 000) и гравитационной съемок, которые до 2000-х гг. при его изучении не использовались, лишь в 2000–2010 гг. в СНИИГГиМС по ним выполнено математическое моделирование для наиболее перспективной южной части массива (19 расчетных профилей через 200 м). Это позволило уточнить параметры известных зон, выделить новые и показать, что рудные зоны вкрапленного типа, как и отдельные маломощные жильные тела, на глубину (100 м) не прослеживаются. С использованием материалов предыдущих геолого-поисковых работ и данных математического моделирования ресурсы хромовых руд этой части массива определены в 4,02 млн т.

Шалапско-Белининский гипербазитовый массив является самым крупным на Салаире (около 50 км² вместе с телами габброидов). Он вытянут, как и все массивы Салаира, в околomerидиональном направлении на 25 км и имеет ширину от 0,8 до 4,0 км, пережимом разделен на две части – северную белининскую и южную шалапскую. Массив полностью перекрыт рыхлыми отложениями, под которыми на большей части массива развита кора

выветривания мощностью до 50 м, представленная охристо-глинистыми образованиями, содержащими небольшое по масштабу кобальт-никелевое месторождение.

Массив сложен серпентинизированными гипербазитами дунит-гарцбургитового СВК, среди которых наиболее развиты аподунитовые, апогарцбургитовые серпентиниты при подчиненном количестве вебстеритов, энстатитов, лерцолитов, клинопироксенитов и некоторых других разновидностей пород, соответствующих этому СВК. Широко распространены габброиды, которые в шалапской части слагают небольшие тела внутри гипербазитов, а в белининской развиты значительно шире и в количественном отношении даже преобладают над гипербазитами, слагая отдельные крупные тела.

Если другие массивы Салаира имеют вид вертикальных клиньев (протрузий), то Шалапско-Белининский по данным моделирования потенциальных полей имеет вид лополита толщиной 1,0–1,5 км, едва начавшего вскрываться эрозионным срезом. Весь массив перекрыт рыхлыми отложениями мощностью до 10 м, под которыми на большей его части развита кора химического выветривания с кобальт-никелевым оруденением, известным как Белининское месторождение. На глубине она постепенно переходит в серпентиниты массива.

В белининской части массива известно единственное коренное проявление хромитов на поверхности, представленное двумя разобщенными на 500 м выходами хромитовых руд с содержанием Cr_2O_3 по четырем пробам от 29,42 до 58,46 % при мощности рудных тел до 1,5 м. Считается, что оба выхода рудных тел принадлежат единой рудной зоне, однако скважинами, пробуренными под нее, это не подтверждено.

Шалапско-Белининский массив специально на хромитовую минерализацию не изучался, поскольку для этого не было особых предпосылок, и все сведения о его хромитонности получены попутно при изучении развитой на нем коры химического выветривания. При разведке коры выветривания в пределах массива было пробурено 2186 скважин 50–70 м (единичные до 200–300 м, одна даже 600 м) общим объемом 221162 пог. м. Все скважины проходили сквозь кору выветривания и углублялись в серпентиниты массива. Вкрапленность хромита по керну колеблется в пределах 0,01–4,0 %, только в единичных скважинах повышается до 5–10 и даже 30 %. Оценивая вкрапленность хромита в керне скважин, следует учесть следующее. Лишь в нескольких десятках из 2186 скважин отмечается редкая (5–10 %) вкрапленность хромита, которая может представлять лишь минералогический интерес, а в 32 скважинах – «заметная» (по словам производителей) (10–30 %), что частично может соответствовать убогим рудам. Рудная зона вскрыта в единственной скв. 742 (мощность в скважине 12 м, вкрапленность хромита до 30–50 %). Несмо-



тря на казалось бы отрицательные результаты проведенных работ, хромитовый потенциал этого массива оценивался достаточно высоко – в 36 млн т до глубины 100 м, поскольку вкрапленность хромита в среднем 10–12% (убогие руды), установленная в 32 скважинах, распространена на площади 12 км².

В СНИИГГиМС на базе ранее проведенных гравиметрических съемок м-ба 1:10 000–1:25 000 было выполнено математическое моделирование по ранее выделенным перспективным площадям по 20 расчетным профилям на всем массиве. Ресурсы убогих руд составили 10,46 млн т.

Верх-Аламбайский гипербазитовый массив представляет собой линейное тело длиной 7 км, шириной от 0,75 до 2,0 км, общей площадью 3,5 км². Он сильно задернован, мощности четвертичных отложений до 10 м. Однако по бортам пересекающей его р. Степной Аламбай в центральной и северной частях он хорошо обнажен. Выявлен магнитометрической съемкой, изучался в 1962 г. только скважинами (398,7 пог. м) и шурфами (всего 109). Сотрудниками СНИИГГиМС на основании данных моделирования по потенциальным полям установлено, что массив имеет клинообразную форму и выклинивается на глубине 1,0–1,5 км. В его строении принимают участие серпентиниты и в резко подчиненном количестве пироксениты, слагающие небольшие участки. Среди серпентинитов выделяются аподунитовые, апогарцбургитовые и серпентиниты неопределимого состава. В коренных обнажениях видно, что южная его часть, вмещающая рудопоявления хромита, сложена полосчатым дунит-гарцбургитовым серпентинизированным комплексом. Проявления хромитовой минерализации отмечаются в коренном залегании в нескольких точках в центральной и южной частях массива. Так, в левом борту долины р. Степной Аламбай в обнажениях среди аподунитовых серпентинитов встречены полосчато-вкрапленные бедные руды. Видимая мощность хромитоносных зон от 40–70 см до 1,5–2 м. Внутреннее их строение характеризуется чередованием полос (мощностью 5–10 см) густой и редкой вкрапленности хромита с полосами безрудного серпентинита (мощностью до 30 см). В одном шурфе вскрыты густовкрапленные полосчатые руды мощностью 0,3 м, в них содержится 55,33% Cr₂O₃, 10,6% FeO и 18% Fe₂O₃. В южной оконечности массива в двух скважинах в интервалах 46,9–47,0 и 42,1–42,2 м среди аподунитовых серпентинитов встречены полосчатые руды. Экспертная оценка ресурсов массива менялась от 1 до 5 млн т, а наиболее приемлемая – 2,0 млн т.

Уксунайский гипербазитовый массив расположен на северо-восточном окончании Салаирского гипербазитового пояса и представлен четырьмя сближенными телами общей протяженностью 7,0 км, шириной 1–2 км. Наиболее крупное тело (3,0×1,0 км) слагает северо-западную часть массива и считается наиболее перспективным на хромитовое оруденение. С поверхности массив сложен

серпентинитами неясной природы, среди которых в виде небольших участков устанавливаются аподунитовые и апогарцбургитовые разности. Массив изучался лишь на силикатные руды никеля в коре выветривания, для чего были пройдены 142 шурфа.

На массиве обнаружены серпентиниты с вкрапленностью хромшпинелидов (Cr₂O₃ до 26,95%), редко линзы и гнезда сплошных и густовкрапленных руд (Cr₂O₃ до 53,17%). На площади массива известны самые высокие среди хромитоносных массивов Салаира шлиховые ореолы (0,3–1,0% хромшпинелидов), что подтверждает его потенциальную рудность. Кроме того, все исследователи подчеркивают, что Уксунайский массив отличается наличием высоких магнитной (1500 нТл) и гравитационной (12 мГл) аномалий, при этом последняя – одна из самых крупных на Салаире, ее ширина 500 м, а амплитуда Δg локальной аномалии составляет 3 мГл, в то время как на Успенском хромитоносном массиве – всего 0,45 мГл. Анализируя эти данные, А. Ф. Быч [1] с соавторами пришли к выводу, что эта аномалия вызвана значительными концентрациями хромитовых руд, однако ее природа далеко не ясна и она может быть связана с титаномагнетитовыми или железными рудами. Тем не менее ее наличие стало решающим в положительной оценке перспектив хромитоносности массива. Экспертным путем ресурсы массива на хромиты оценены в 5,0 млн т.

Кемеровская область

Здесь находится Кузнецко-Алатауский гипербазитовый пояс, являющийся восточной ветвью Северо-Алтайско-Салаирского пояса [6]. В его пределах известно несколько гипербазитовых массивов, из которых хромитоносны два наиболее крупных – Бархатный и Среднетерсинский, расположенные в крайней северной части.

Бархатный гипербазитовый массив – акмолитообразное тело меридионального (согласного с вмещающим его глубинным разломом) простирания протяженностью 28 км, шириной 2–3 км, площадью 34 км² [5]. Это типичная протрузия с крутыми тектоническими контактами. Для всего массива, особенно приконтактных его частей, характерна интенсивная брекчированность, местами расланцевание. Вмещающие породы – метаморфические сланцы и известняки верхнепротерозойско-нижнекембрийского возраста, а в северо-западной части – красноцветные девонские породы.

В северной половине массив преимущественно сложен в разной степени серпентинизированными дунитами, в южной – гарцбургитами [8]. Для массива характерно полосчатое строение с ориентировкой полос согласно удлинению массива. Специально на хромитовую минерализацию массив не изучался. При геологической съемке м-ба 1:200 000 были выявлены три коренных рудопоявления хромита, в нескольких местах – обломки хромитовых руд. Все рудопоявления приурочены к центральной и южной



частям массива, а в их пределах – к дунитовым и дунит-гарцбургитовым ядрам. Рудопроявления представлены зонами вкрапленности (в том числе густой):

– рудопроявление № 1 – мощность 0,3–1,4 м, содержание Cr_2O_3 35–52 %,

– рудопроявление № 2 – сближенные жилки мощностью 5–15 см, образующие общую зону мощностью до 40 см, содержание Cr_2O_3 16,42–23,82 %,

– рудопроявление № 3 – зона вкрапленных руд протяженностью 7 м, мощностью 1,5 м, содержание Cr_2O_3 от 16,78 до 48,3 %.

М.Я. Галушко определил прогнозные ресурсы в 110 млн т, В.С. Мурзин и Д.П. Николаев – в 30 млн т; в Госбалансе было зафиксировано 15 млн т по категориям P_2 и P_3 –5 и 10 млн т соответственно; по оценке СНИИГГиМС – 33,5 млн т (по категориям P_2 и P_3 2,3 и 31,2 млн т соответственно).

Среднетерсинский гипербазитовый массив – самый крупный в регионе (50 км²). В плане он имеет форму серпа шириной от 0,2 до 4,5 км с общей длиной дуги 35 км (рис. 3) [5]. По данным моделирования потенциальных полей на глубине 0,5–1,0 км его серповидная форма замыкается и он приобретает овальную форму, удлинённую согласно региональной структуре. Массив сложен дунитами и оливинитами, оливин-антигоритовыми породами, гарцбургитами, разнообразными серпентинитами и принадлежит к дунит-гарцбургитовому СВК. Дуниты и оливиниты слагают многочисленные ядра, самое крупное имеет площадь около 8,0 км². Вскрыт скважиной глубиной 700 м и речной сетью на ту же глубину. В совокупности с данными моделирования это позволяет определить его глубину в 1400 м.

При геологических и поисковых работах в пределах массива как в коренном залегании, так и свалах установлено почти два десятка рудопроявлений, большая часть из которых тяготеет к полям развития дунитов и их серпентинизированных разновидностей. Наиболее интересные рудопроявления были определены как перспективные участки. В коренном залегании оруденение представлено прожилково-вкрапленным типом в зонах мощностью 1–2 м, редко жилками хромита протяженностью от 1 до 10–15 м среди полос его вкрапленности. Концентрация хромита от убогой (первые проценты Cr_2O_3) до высокой (до 50–55 %), в жилках еще выше. В рудопроявлениях, представленных свалами, кроме вкрапленных руд присутствуют обломки сливных. Наиболее крупное и перспективное рудопроявление находится на участке Становом [5], где с целью его оценки проводились горные и буровые работы. Расчисткой была вскрыта рудная зона прожилково-вкрапленных руд мощностью 9 м, прослеживаемая на 20 м, с содержанием Cr_2O_3 по 9 пробам 16,26 %; в ней, кроме бедных вкрапленных руд, имеются сливные прожилки хромитов и одна жила мощностью 1,0 м. Пробуренная здесь скважина вскрыла в нескольких интервалах (последний – 483,0–503,0 м) полосчатые, густовкраплен-

ные и прожилково-вкрапленные руды. В.С. Мурзин и А.П. Николаев в 1998 г. оценили прогнозные ресурсы всего Среднетерсинского массива в 50 млн т (в том числе участка Станового 10,0 млн т); сотрудники СНИИГГиМС в 2010 г. – в 28,8 млн т.

Красноярский край

Хромитоносные массивы известны на Енисейском кряже и Западном Саяне.

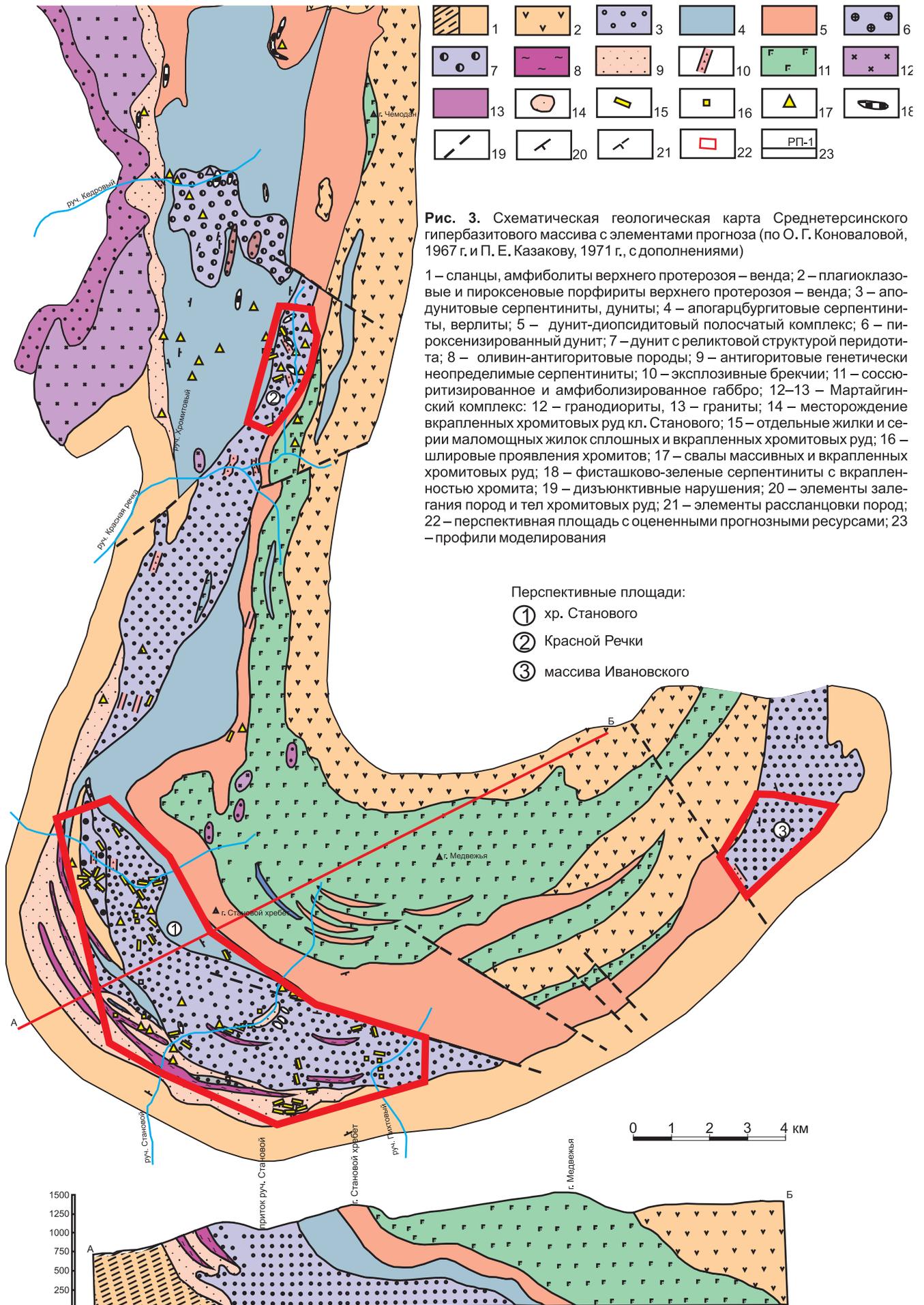
В пределах северо-западной части **Енисейско-го кряжа** В.А. Кузнецовым [6] был выделен *Енисейский гипербазитовый пояс* протяженностью 200 км, содержащий около 30 мелких (протяженностью 1–3 км) гипербазитовых массива и два наиболее крупных хромитоносных массива: Березовский и Глубокинский. Контакты гипербазитовых массивов с вмещающими вулканогенно-осадочными породами тектонические. По данным Т.Я. Корнева, оба хромитоносных массива относятся к дунит-гарцбургитовому СВК, представленному сильно серпентинизированными гарцбургитами, лерцолитами, верлитами и дунитами.

Глубокинский гипербазитовый массив геологически является южным продолжением Березовского и располагается вдоль правобережья р. Енисей, образуя параллелограмм (длиной 10 км, шириной около 5 км), обрезанный разломами северо-западного направления. Он, так же как и Березовский, представлен различными ультрабазитовыми породами с разнообразной хромитовой минерализацией (преобладает вкрапленная, но встречаются и участки сливных руд).

Наиболее детально этот массив, как и Березовский, изучался Т.Я. Корневым, который в его составе выделил три наиболее перспективных участка (Западный, Центральный и Восточный) и оценил их суммарные прогнозные ресурсы в 3,1 млн т. По оценке СНИИГГиМС с привлечением дополнительных данных по математическому моделированию потенциальных полей ресурсы составили 8,48 млн т.

В целом, по указанным массивам прогнозные ресурсы хромитовых руд металлургического типа могут быть увеличены за счет Березовского, большая часть которого уходит под русло р. Енисей. Оба массива остались недоразведанными, хотя и характеризуются отдельными проявлениями и обломками богатых массивных хромитовых руд.

Березовский гипербазитовый массив длиной более 10 км находится в северной части гипербазитового пояса. По геофизическим данным большая его часть располагается под руслом р. Енисей, лишь частично (на площади 7 км²) – в его правобережной части, где он обнажается в бортах ручьев, впадающих в Енисей. В строении массива принимают участие породы апогарцбургитового состава. В них отмечены полосы аподунитов шириной 3–5 м, судя по данным бурения, с глубиной расширяющиеся до 20 м и более. К ним приурочено хромитовое оруде-



нение. Хромитоносность Березовского массива характеризуется шестью рудопроявлениями – тремя в коренном залегании и тремя в свалах. Коренные рудопроявления представлены линзами вкрапленных и прожилково-вкрапленных руд хромитов небольших размеров (0,4×1,5; 1,0×1,2 и 0,4×3,2 м) с содержанием Cr₂O₃ от 36,6 до 47,5%. Т. Я. Корневым объединил их в одну рудоносную зону с прогнозными ресурсами 13,76 млн т по категории Р₃.

В **Западном Саяне** находится Западно-Саянский гипербазитовый пояс, представленный двумя сходящимися ветвями – северной Северо-Саянской (280 км) и южной Куртушибинской (250 км). По данным Г. В. Пинуса и Ю. Н. Колесника [8], пояс содержит около 80 гипербазитовых массивов мелких (первые квадратные километры) и несколько крупных (до 150 км²). Слабая хромитоносность свойственна многим массивам, особенно крупным, где она представлена зонами вкрапленности, шлирами, гнездами, жилками и прожилками, не представляющими промышленного интереса. Промышленно значимая минерализация установлена только в двух хромитоносных массивах – Эргакском и Калининском, где она изучалась с применением горно-буровых работ.

Эргакский массив имеет овальную форму, размер его 14×8 км, площадь 85 км². Относительно протяженности массива на глубину и, следовательно, его объемной формы, однозначных данных нет.

Так, по мнению С. Г. Катанова, занимавшегося его изучением, массив имеет вид пологий (почти горизонтальной) чешуи мощностью 1–2 км, а по данным сотрудников СНИИГГиМС, полученных по материалам математического моделирования гравитационного поля, – грибообразную форму с подводящим каналом в центральной части массива, уходящим на глубину более 5 км (рис. 4). Эти разногласия прямо влияют на оценку его перспектив. Если его форма грибообразная, то на оруденение перспективна центральная часть (над подводящим каналом, где и находится большинство известных рудопоявлений), а если чешуйчатая, то перспективна практически вся его площадь, в том числе и периферийная, где известны единичные рудопоявления. Особенностью этого массива является развитие вдоль его краевой части серпентинитового меланжа, местами шириной до 300 м, что и послужило основанием для определения формы массива как пологой чешуи.

Строение массива четко выраженное концентрически-зональное, поскольку от периферии к центру он последовательно сложен полосами (зонами) гарцбургитов (600–800 м), дунитов (350–600 м), снова гарцбургитов (400–450 м) с линзами дунитов, ритмичным переслаиванием дунитов и апоперидотитов (70–130 м) и гарцбургитов (230–420 м). По сравнительно однородному дунит-гарцбургитовому составу массив относится к соответствующему СВК с дунитовыми хромитоносными горизонтами.

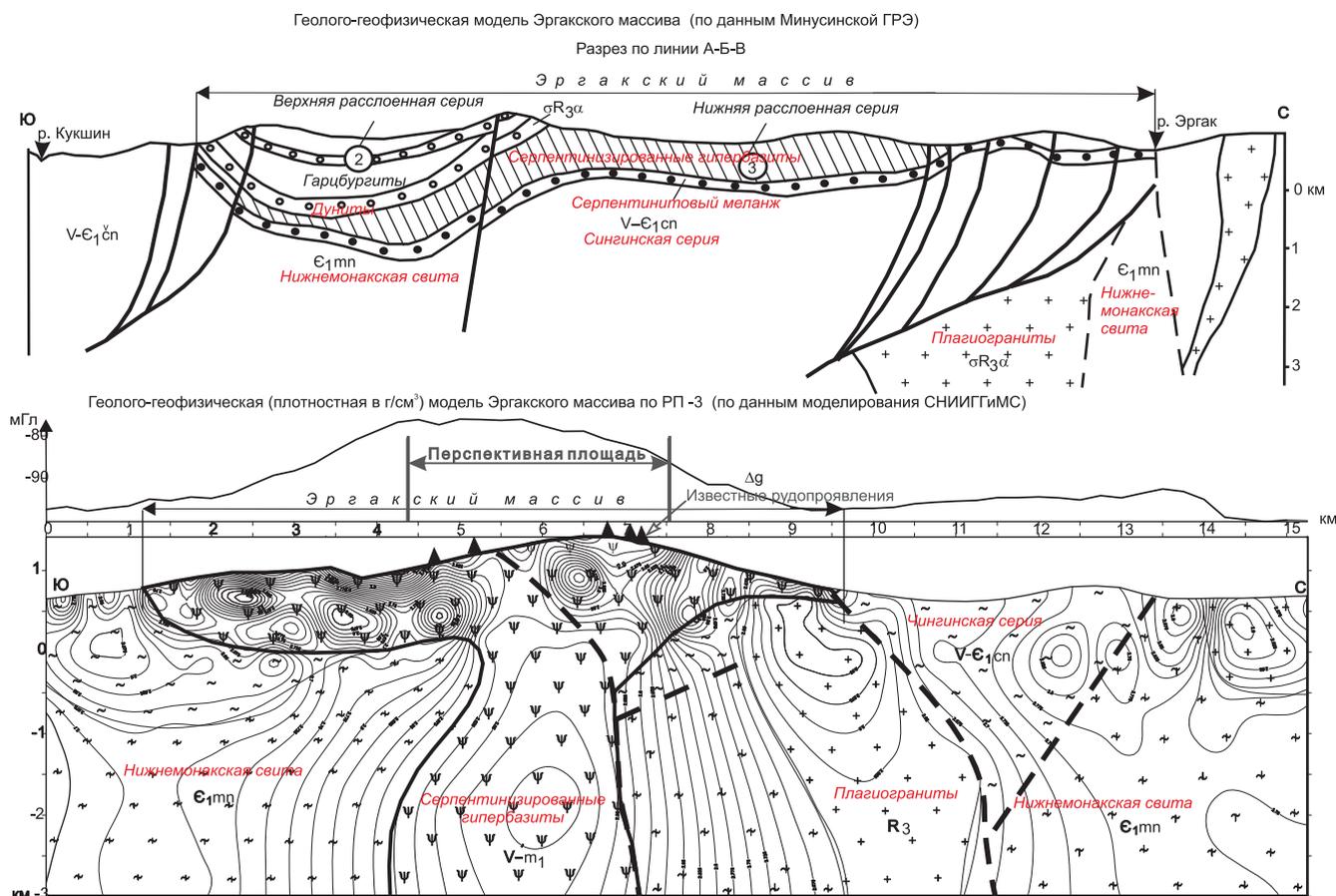


Рис. 4. Геолого-геофизические модели Эргакского массива по данным Минусинсклй ГРЭ и СНИИГГиМС



В пределах Эргакского массива выявлено пять проявлений и 17 пунктов хромитовой минерализации с прожилково-вкрапленными рудами (Cr_2O_3 59,22–60,0%). Массив оценивался по результатам горных работ и крупномасштабных магнитных и гравиметрических съемок, по материалам которых выполнено моделирование потенциальных полей.

Для руд в коренном залегании ресурсы по категориям P_2+P_3 в составляют 7,03 млн т, а для валунчатых по категории P_1 – 6,0 тыс т.

Калнинский гипербазитовый массив имеет слабо вытянутую в широтном направлении форму. Его протяженность 17 км, ширина до 6,5 км, площадь 80 км². Массив сложен серпентинизированными гарцбургитами (45–50%), дунитами (15–20%) и апоперидотитовыми серпентинитами (30–35%) антигоритового и хризотил-антигоритового состава. В его пределах выделено восемь рудопроявлений в коренном залегании и около 10 точек минерализации. Рудные тела имеют жилло- и линзообразные формы, протяженность до 5, редко 10 м; они, как правило, сближены и группируются в зоны шириной 5–10 м и протяженностью 50–150 м. Массив оценивался по материалам горно-буровых работ: 0,39 млн т по категории P_1 , 4,32 млн т по категории P_2 .

Республика Тыва

Здесь имеется несколько гипербазитовых поясов, среди которых в настоящее время перспективным на хромитовое оруденение промышленного типа считается только один – **Южно-Тувинский**, который протягивается в виде полосы шириной 20–25 км на расстояние около 100 км, продолжаясь в МНР. В нем насчитывается 26 гипербазитовых массивов площадью от 1,0 до 40,0 км², имеющих резко вытянутые формы и крутые тектонические контакты. Хромитовая минерализация известна во всех крупных массивах, представленных шлировидными гнездами и единичными (1,5–10 см) жилками хромита. Наиболее полно она проявлена в Агардагском и Улорском хромитоносных массивах.

Агардагский гипербазитовый массив имеет клиновидную форму, его длина 20 км, максимальная ширина 4 км, площадь 31 км² [2]. В строении массива принимают участие перидотиты (доминируют), дуниты и гарцбургиты обычно в разной степени серпентинизированные, пироксениты, листвениты и родингиты. Дуниты распространены достаточно широко – до 30% площади массива. Дуниты и гарцбургиты присутствуют совместно, образуя полосчатый дунит-гарцбургитовый комплекс в виде полос шириной до нескольких метров, обычно с повышенной вкрапленностью хромита. Родингиты и листвениты также развиты достаточно широко, особенно в зонах дробления, где слагают тела мощностью десятки или даже сотни метров. Это тяжелые породы, которые определяют гравитационные аномалии, по интенсивности неотличимые от аномалий хромитовых тел, что значительно

затрудняет поиски последних на глубине. Так, по данным бурения все глубинные (до 300 м) гравитационные аномалии связаны с родингитами или лиственитами.

Хромитоносность массива изучалась в несколько этапов в 1976–2010 гг. с применением горно-буровых работ. Как следует из результатов работ, основными рудовмещающими породами являются дуниты или аподунитовые серпентиниты, входящие в состав полосчатого дунит-гарцбургитового СВК. При северо-восточной ориентировке зон часто отмечается несогласная, поперечная ориентировка в них отдельных тел, определяемая резко выраженными поперечными зонами тектонических брекчий. Ю.С. Александровский [2], изучавший этот массив, выделил три пересекающие его субпараллельные тектонические рудоконтролирующие зоны. Из них наиболее перспективна центральная, вмещающая основную часть известных рудопроявлений. В пределах Агардагского массива известно 120 рудопроявлений хромита (74 в коренных породах и 46 в свалах). Из коренных рудопроявлений только 15 достигают в длину 10 м и более (до 90 м, в одном случае – 160 м); протяженность всех остальных от 2 до 10 м. На глубину буровыми скважинами изучались лишь единичные рудопроявления, на которых, наряду с пустыми, есть подсечения рудных тел на глубинах до 80 м. Хромитовая минерализация прослеживается не только в скважинах, но и в рельефе (во врезанных логах) в вертикальном направлении до 100 м. Оруденение прожилково-вкрапленного типа представлено гнездами и шлирами хромита с содержанием Cr_2O_3 от 10 до 30–35%, а при наличии среди вкрапленных зон жилок хромита (1,0–2,0 м) – до 50–55%. Рудопроявления массива изучались по материалам горно-буровых работ и крупномасштабных магнитных и гравитационных съемок.

В результате в основном в центральной рудоконтролирующей зоне выделено несколько перспективных участков, сделаны рекомендации по их доизучению. Каждый этап изучения хромитоносности массива заканчивался оценкой прогнозных ресурсов, весьма разной у разных исследователей. Первоначально они определялись в 30 млн т; до глубины 300 м в 1961 г. – 63,0 млн т и в 1965 г. – 20,0 млн т; до глубины 20 м – 0,14. Министерством геологии в 1993 г. учтены ресурсы в 5,0 млн т, но через пять лет они были сняты с учета. Последняя оценка проведена Красноярским геологическим управлением до глубины 20 м (1,272 млн т по категории P_1) и 200 м (17,315 млн т по категории P_2).

Читинская область

Парамский гипербазитовый пояс включает три хромитоносных гипербазитовых массива – Шаманский (110 км²), Парамский (80 км²) и Келянский (14 км²). Наиболее перспективен и наиболее изучен Шаманский.



Прогнозные ресурсы хромовых руд Сибири (по данным СНИИГГМС, 2010 г.)

Массив	Площадь массива	Глубина оценки, м	Содержание Cr ₂ O ₃	Главный тип руд	Ресурсы по категориям, млн т			
					P ₁	P ₂	P ₃	P ₁ +P ₂ +P ₃
Алтайский край								
Успенский	3,0	300	39–59	Металлург.	0,11	1,63	–	1,74
Тогул-Сунгайский	12,5	300	23–54	–	–	4,02	–	4,02
Шалапско-Белининский	50,0	300	12,0	–	–	10,46	–	10,46
Верх-Аламбайский	3,5	300	8,57	–	–	2,0	–	2,0
Уксунайский	3,0	300	27,53	–	–	–	5,0	5,0
Кемеровская область								
г. Бархатной	34,0	300	17–46		–	2,3	31,2	33,5
Среднетерсинский	50,0	300	38–51		–	15,23	13,57	28,8
Красноярский край								
Глубокинский	35,0	300	13–30	Металлург.	–	–	15,53	15,53
Березовский	30,0	300	49,0	–	–	–	13,76	13,76
Западный Саян								
Эргакский	100,0	300	13,53	Металлург.	0,006	1,21	2,85	4,07
Калнинский	80,0	300	12–40	–	0,39	4,22	–	4,6
Республика Тыва								
Агардагский	31,0	300	27–53	Металлург.	1,27	17,32	2,88	4,32
Читинская область								
Шаманский	110,0	300	38,5	Металлург.	–	3,0	40,0	43,0
Всего					1,78	61,39	121,91	185,07

Примечание. Данные приведены без учета Калнинского массива Западного Саяна, который находится в стадии изучения; его ресурсы оценивались до глубины 300 м по категории P₁ в 392,0 тыс т с перспективой увеличения до 10 млн т.

Шаманский гипербазитовый массив имеет овальную форму, его длина 26 км, ширина до 6 км, площадь 110 км². В рельефе он представляет собой обособленный хребет с превышениями более 1800 м над уровнем р. Витим. Сложен главным образом гарцбургитами, серпентинизированными в различной степени (до 70%) с участками развития аподунитовых серпентинитов, образующих с гарцбургитами полосчатый дунит-гарцбургитовый комплекс. Форма массива на глубине клиновидная, он ограничен крупными тектоническими контактами с падением под массив. В северной и южной частях выделены два перспективных участка, поскольку там отмечены рудопроявления хромита в коренном залегании и свалах. На северном участке в поле развития полосчатого дунит-гарцбургитового комплекса установлено 10 рудопоявлений хромита, представленных прожилками, линзами, жилами и гнездами хромита мощностью до 20 см. Наиболее крупное рудопоявление имеет протяженность до 500 м, среднюю мощность 2,0 м; оно насыщено хромитовыми жилами. Руды массивные с содержанием Cr₂O₃ по 12 шурфовым пробам от 23,8 до 49,5%, в среднем 38,5%, Cr₂O₃/Fe₂O₃ = 2,8. Южный участок представлен одной зоной хромитовой вкрапленности (до 10 м), которая прослежена на 1500 м. Другие рудопоявления представлены как вкрапленными, так и массивными рудами, часто с глобулярной текстурой.

Прогнозные ресурсы хромитовых руд определяются по-разному, однако наиболее приемлемы-

ми оценками представляются 3,0 млн т по категории P₂ и 40,0 млн т по категории P₃.

Сводка по ресурсам хромовых руд Сибири в пределах СФО приведена в таблице.

Выводы

В Сибирском федеральном округе находится более 15 гипербазитовых поясов, вмещающих несколько сотен (не менее 700) гипербазитовых массивов. Подавляющая часть массивов мелкие, протяженностью 2–10 км, площадью 5–10 км² и лишь единичные массивы имеют площадь до 100 км².

1. Хромитовая минерализация в Сибири связана с альпинотипными гипербазитами дунит-гарцбургитовой формации, а внутри ее – в основном с дунит-гарцбургитовым СВК. Минерализация, представляющая лишь минералогический интерес, известна во многих массивах, однако хромитоносны и перспективны на выявление хромитовой минерализации промышленного типа только 13, на которых в основном и были сосредоточены геолого-поисковые работы.

2. Изученность даже этих 13 массивов на хромитовую минерализацию, за исключением единичных случаев, низкая. Так, из более чем 400 рудопоявлений хромитов практически ни одно в должной мере не изучено, не разведано; не подготовлено ни одного объекта для постановки геолого-разведочных работ и, как следствие, не выявлено ни одного месторождения, хотя для этого есть предпосылки.



Рудные ресурсы из-за слабой изученности объектов определялись в основном методом экспертных оценок и поэтому значительно (в разы) различаются, что не позволяет оценить практическую значимость объекта и определяет весьма осторожный подход к этим оценкам.

3. Выполненная нами оценка ресурсов хромовых руд Сибири на основе обобщения и анализа предыдущих геолого-разведочных работ с использованием математического моделирования, значительно отличается от существующей; мы считаем, что ресурсов меньше в 2 раза и более: не 400 млн т (по данным геолкомов), а до 185 млн т, к тому же значительная их часть из более высокой категории P_2 переведена в более низкую P_3 . Наибольшие изменения в наших оценках ресурсов связаны с использованием математического моделирования гравитационных и магнитных полей, как, например, для Успенского, Шалапско-Белининского и Тогул-Сунгайского массивов.

4. Хромитовая минерализация в гипербазитовых массивах представлена шширами, зонами вкрапленности (от редко- до густовкрапленных) и жилами сливных руд. Размер шширов исчисляется первыми десятками сантиметров, редко первыми метрами, мощности зон вкрапленности – от десятков сантиметров до первых метров, протяженность – метры, иногда первые десятки метров, лишь в единичных случаях первые сотни метров. При этом чем больше мощность и протяженность зон вкрапленности, тем беднее в них руды. Так, в зонах вкрапленности мощностью десятки сантиметров и протяженностью в первые метры руды могут быть от бедно- до густовкрапленных, а в зонах мощностью 2–3 м и протяженностью до 10 м – только бедно- или средневкрапленные с содержанием Cr_2O_3 до 5–10, участками 25–30%. Жильный тип, представленный сплошными богатыми рудами с содержанием Cr_2O_3 до 45–50%, распространен широко и присутствует почти на всех рудопоявлениях в виде прожилков, жил и жил мощностью от первых сантиметров до 0,5–1,0 м, редко 1,5 м и лишь в единичных раздувах жил до 2,5 м, а протяженностью – от первых метров, с перерывами – до первых десятков метров.

5. На всех изученных 13 массивах рудные тела представлены как густовкрапленными богатыми, так и средне- и убоговкрапленными рудами мощностью не выше 1,5–2,0 м при протяженности в первые десятки метров, а с перерывами – до 250 м. Ресурсы по категории P_1 оценены только на четырех массивах: Успенском (0,11 млн т), Калнинском (0,39 млн т), Эргакском (0,006 млн т), Агардагском (1,27 млн т), суммарно 1,78 млн т, а ресурсы по категории P_2 – 61,39 млн т. По категории P_3 , отражающей не столько реальные ресурсы, сколько возможные масштабы оруденения, они оценены в 121,91 млн т.

6. По существующей классификации месторождений хромовых руд в Сибири можно ожидать выявление мелких или средних месторождений с запасами 0,1–0,5 млн т, возможно до 1–2 млн т, в первую очередь в пределах уже известных хромитовых массивов. Обнаружение мелких месторождений хромовых руд возможно практически на всех хромитовых массивах, однако наиболее перспективны Эргакский, Калнинский в Западном Саяне, Среднетерсинский в Кузнецком Алатау, Успенский и Тогул-Сунгайский на Салаире, Агардагский в Тыве.

7. Учитывая недостаточную изученность хромитовой минерализации Сибири, необходимо продолжить исследование всех известных массивов, в первую очередь наиболее перспективных, на Салаире, Западном Саяне и в Республике Тыва с обязательным применением моделирования потенциальных полей, обеспечивающего прогнозирование на глубину.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быч А.Ф., Тараканов К. В., Кизилев Е. И. Хромитовосность гипербазитов Салаира // Руды и металлы. – 1998. – № 2. – С. 16–22.
2. Государственная геологическая карта РФ, лист М-46; 1:1000 000; серия Алтае-Саянская / под ред. Б.А. Блюмана, Ю.С. Глухова. – Красноярск: Красноярскгеолсъёмка, 2008.
3. Долгушин С. С., Садур О. Г., Марков В. В. Перспективы создания базы хромового сырья в Сибири // Междунар. науч. конф. «Офиолиты: геология, петрология, металлогения и геофизика». – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. – С. 265–268.
4. Долгушин С. С., Садур О. Г., Марков В. В. Строение Салаирского гипербазитового пояса по данным моделирования потенциальных полей и перспективы хромитовой минерализации // Матер. регион. конф. геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока Сибири. Т. II. – Томск, 2000. – С. 81–82.
5. Коновалова О. Г., Прусевич Н. А. Дунит-гарцбургитовые массивы Кузнецкого Алатау и Салаира. – Новосибирск: Наука, 1977. – 166 с.
6. Кузнецов В. А. Гипербазитовые пояса Алтае-Саянской горной системы // Докл. АН СССР. – 1948. – Т. 60 – С. 269–272.
7. Перевозчиков Б. В. Закономерности локализации хромитового оруденения в альпийских гипербазитах (на примере Урала) // Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений твердых полезных ископаемых: обзорная информация. – 1995. – № 7. – С. 1–46.
8. Пинус Г.В., Колесник Ю. Н. Альпийские гипербазиты юга Сибири. – М.: Наука, 1966. – 211 с.

© С. С. Долгушин, В. В. Жабин,
И. Ю. Лоскутов, О. Г. Садур, 2017



О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМАХ ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА В ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПОРИСТЫХ ФЛЮИДОНАСЫЩЕННЫХ СРЕДАХ

В. В. Филатов

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

Рассмотрены вопросы, связанные с интерпретацией параметров, фигурирующих в феноменологическом подходе, который основан на приближении Коула–Коула. Использование фрактальной модели среды и уравнений в дробных производных позволяет взглянуть на вопросы обоснования таких параметров с более общих позиций. В частности, показан физический смысл степенного параметра, входящего в формулу Коула–Коула, который устанавливает зависимость между временем релаксации и характерными размерами элементов микроструктуры среды. Использование решений уравнений в дробных производных позволяет в рамках приближения Коула–Коула уточнить распределение времен релаксации для случая, когда в среде происходит сложный процесс, который обусловлен комбинацией временных спадов, соответствующих набору различных параметров Коула–Коула. Для этого в качестве релаксационной модели используется закон Кольрауша–Уильямса–Уотса. Показано сходство релаксационной модели теории вызванной поляризации и модели изменения удельного сопротивления при упругом воздействии (сейсмoeлектрический эффект первого рода). Это открывает возможность на основе анализа полной кривой релаксации по аналогии с сейсмoeлектроразведкой, прогнозировать дополнительные параметры гетерогенной среды, например пористость и проницаемость.

Ключевые слова: *электроразведка, электромагнитное поле, феноменологический подход, пористая среда, флюидонасыщенность.*

SOME PROBLEMS OF THE PHENOMENOLOGICAL APPROACH IN THE THEORY OF ELECTROMAGNETIC FIELD IN A POROUS MEDIUM SATURATED WITH FLUIDS

V. V. Filatov

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

The paper discusses interpretation of parameters applied by the phenomenological approach based on the Cole–Cole approximation. It was shown that the use of the fractal medium model and equations in fractional derivatives enables more general substantiation of such parameters. In particular, the physical meaning of the power parameter in the Cole–Cole formula was discussed, which correlates the relaxation time and the typical dimensions of elements of the medium microstructure. The use of solution equations in fractional derivatives enables adjustment of relaxation times distribution under the Cole–Cole approximation in cases when there is a complex process in the medium, driven by a combination of time decays corresponding to a set of various Cole–Cole parameters, by using the Kohlrausch-Williams-Watts law as a relaxation model. The author demonstrates a similarity between the relaxation model of the induced polarisation theory and the resistivity variation model at an elastic impact (seismoelectric effect of the first kind). This allows predicting additional parameters of the inhomogeneous medium, e.g. porosity and permeability, based on the analysis of a total relaxation curve.

Keywords: *electrical survey, electromagnetic field, phenomenological approach, porous medium, fluid saturation.*

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6c-139-146

Феноменологический подход всегда играл существенную роль в самых разных областях науки. Специфика его, по определению В. Гейзенберга, заключается в «формулировке закономерностей в области наблюдаемых физических явлений, в которой не делается попытки свести описываемые связи к лежащим в их основе общим законам природы, через которые они могли бы быть поняты» [1].

Как отмечает В. Гейзенберг, такой подход появляется там, где наблюдаемые явления либо чрезвычайно сложны, либо не могут быть описаны из-за математических трудностей или из-за

незнания упомянутых законов природы. Вместе с тем одна из важнейших характеристик феноменологических теорий состоит в том, что они делают возможным адекватное описание наблюдаемых явлений, и в частности часто позволяют очень точно смоделировать новые эксперименты. В прикладных областях полученные закономерности часто оказывались настолько важнее изучения реальных связей, что временами делали познание истинных законов природы даже в какой-то степени излишним.

Теория электромагнитных полей (особенно в прикладных аспектах) не исключение. Начиная

с системы уравнений Максвелла и до настоящего времени феноменологический подход – один из основных инструментов изучения различных особенностей поведения электромагнитных полей.

Известно, что многие процессы, происходящие в пористых флюидонасыщенных средах под воздействием электромагнитного поля, или не имеют строгого описания, или требуют для него большего количества параметров, на практике фактически не определяемых. Этим обусловлено возникновение при описании таких процессов феноменологических подходов, в которых теория явления не зависит от реальной физической кинетики процесса, но которые позволяют использовать для конденсированных сред относительно небольшое количество параметров [6,8].

Один из наиболее известных вариантов такого подхода связан с введением «фактора последствия» – нелокального во времени соотношения между параметрами, входящими в уравнения материальных связей. Такая связь может быть представлена в виде интеграла типа свертки, конкретный вид которого определяется видом ядра интегрального оператора, а оно, в свою очередь, определяет модель функции «памяти».

Процессы, обладающие подобными свойствами, называются эредитарными и известны уже давно. Основные принципы сформулировал итальянский математик В. Вольтерра, посвятивший ряд научных работ развитию этой идеи применительно к физическим и экологическим задачам [18]. Он же предложил использовать для описания эредитарных процессов интегральные уравнения, носящие его имя, – уравнения Вольтерры.

В современной электроразведке начало применения принципов эредитарности связывается с работой В. В. Кормильцева [3], в который он ввел дисперсию в уравнения электродинамики, записав выражение для тока в виде

$$j(t) = \sigma(0) \left[E(t) - \int_0^t m(\tau) E(t-\tau) d\tau \right], \quad (1)$$

тем самым заложив основы такого феноменологического подхода.

Здесь функция $m(\tau)$ характеризует процесс релаксации проводимости среды, но этот процесс и описывающие его уравнения практически не изучались. Феноменологический подход свелся к рассмотрению в диспергирующих средах обычной системы уравнений Максвелла. В ней уравнения материальных связей представляются в виде интегралов свертки, а линейность такой модели позволяют переходить к решениям уравнений Максвелла в частотном варианте и изучать диспергирующие среды, ограничиваясь набором параметров, входящих, например, в формулу Коула – Коула, и записывая дисперсию сопротивления в виде

$$\rho(\omega) = \rho_0 \left[1 - \eta_0 \left(1 - \frac{1}{1 + (i\omega\tau_0)^c} \right) \right], \quad (2)$$

где комплексная восприимчивость

$$\chi(i\omega) = \frac{1}{1 + (i\omega\tau_0)^c} \quad (3)$$

определяет параметры дисперсии в соответствии с моделью Коула – Коула. Здесь ω – частота; ρ_0 – удельное электрическое сопротивление на постоянном токе; η_0 – безразмерная поляризуемость; τ_0 – время релаксации; c – параметр, обычно трактуемый как характеристика разброса времен релаксации, распределенных около наиболее вероятного значения ($c < 1$).

Таким образом, идея эредитарности в первоначальном виде не получила достаточно широкого развития в электродинамике.

Параметры электромагнитных полей, распространяющихся в фрагментированных флюидонасыщенных горных породах, несут в себе информацию о строении, составе и условиях залегания пород, а также содержат сведения о литологии пород (трещиноватости, пористости, наличии различного рода нарушений и локальных включений) и о составе и фазовом состоянии флюидов – заполнителей порового пространства коллекторов.

Однако традиционная система уравнений Максвелла не отражает многообразие свойств флюдонасыщенной среды, не учитывает проницаемость формации, ее пористость, потенциал двойного электрического слоя, т. е. всего того, что представляет реальную среду с электрическим током.

Обобщение уравнений Максвелла, связанное с введением функции памяти, также не исчерпывает всего многообразия свойств флюдонасыщенной среды, поскольку оперирует только тремя дополнительными параметрами. Однако введение недебавевских процессов релаксации позволяет более детально моделировать электромагнитные поля в традиционных задачах электродинамики.

Модели дисперсии свойств среды и уравнение релаксации

В последнее время в проблеме влияния дисперсии свойств среды на процессы релаксации появилось большое количество исследований, которые связаны с использованием уравнений в дробных производных, позволяющих получить в явном виде уравнение для неэкспоненциальной релаксации.

Модель Коула – Коула заимствована геофизиками из теории несовершенных диэлектриков, что вполне оправданно. Геофизические среды являются проводниками электрического тока с низкой электропроводностью. Такие проводники, согласно [4], можно рассматривать как диэлектрики с утечкой



электрического тока. В теории диэлектрической релаксации подробно охарактеризованы математические модели, позволяющие описать отклик, который представляется более сложным, чем простой закон Дебая, в частности описываемый соотношением Коула–Коула.

Эти модели базируются на фрактальности среды и использовании уравнений в частных производных.

Схемы, рассмотренные в этих работах (с учетом замечания, приведенного выше), формально могут быть использованы для обоснования зависимостей типа Коула–Коула и при изучении поляризационных явлений в гетерогенной геологической среде.

Отметим, что модель Коула–Коула не всегда адекватно описывает экспериментальные данные, что может приводить, например, к искажениям петрофизической интерпретации материалов.

Поэтому в диэлектрической спектроскопии достаточно широкое распространение получила модель Коула–Дэвидсона [14], в которой сопротивление описывается формулой

$$\rho(\omega) = \rho_0 \left[1 - \eta_0 \left(1 - \frac{1}{(1 + (i\omega\tau_0))^v} \right) \right]$$

с комплексной восприимчивостью

$$\chi(i\omega) = \frac{1}{(1 + i\omega\tau_0)^v}, \quad (4)$$

а также модель Гаврильяка–Негами [14], комплексная восприимчивость в которой описывается формулой, обобщающей выражения (3, 4):

$$\chi(i\omega) = \frac{1}{(1 + (i\omega\tau_0)^c)^v}. \quad (5)$$

Для примера рассмотрим формулу Коула–Коула, как наиболее распространенную в геофизических приложениях.

Подход, связанный с использованием фрактальных представлений о среде, позволяет по-новому взглянуть на проблемы частотной дисперсии. Рассмотрим два момента, связанных с описанием процесса релаксации удельной проводимости в диспергирующей среде.

Обратимся к уравнению (1). Процесс релаксации определяется ядром интегрального оператора, представляющим собой фактически функцию «памяти». В работах [10, 16] показано, что в среде, обладающей свойствами самоподобия, в общем случае функция памяти имеет следующую структуру:

$$K(t, \tau) = \frac{1}{\tau^2} F\left(\frac{t}{\tau}\right),$$

где τ – время релаксации; $F(t)$ – некоторая безразмерная гладкая функция.

В реальной среде протекает множество релаксационных процессов, каждый из которых обладает своей функцией «памяти», а на практике мы наблюдаем некоторый эффективный процесс.

Фрактальная модель позволяет описать эффективный релаксационный процесс во всей системе как сумму всех процессов самоподобного (фрактального) множества.

В работах [10, 16] показано, что процессы релаксации, протекающие в таком множестве, можно аналитически рассчитать, не конкретизируя вида функции памяти $F(t)$. Среда при этом представляется в виде иерархической совокупности соподчиненных кластеров. В данном случае рассматривалась конкретная модель фрактальности среды, в которой иерархия кластеров описывается соотношением

$$R_l = R_0 \eta^l; \tau_l = \tau_0 \xi^l; -L_1 \leq l \leq L_2; \eta, \xi > 1,$$

где R_l – число, определяющее размер кластера данного уровня; τ_l – соответствующее время релаксации.

В этом случае можно записать достаточно громоздкое выражение для комплексной восприимчивости в виде [10, 16]

$$\chi(\omega) = \frac{1}{1 + R(i\omega)},$$

где

$$R(i\omega) = \left[\sum_{k=-L_1}^{L_2} C_k (d_f) (i\omega\tau_0)^{-\alpha + i\Omega k} \right]^{-1}; \quad \alpha = \frac{\ln \eta}{\ln \xi} -$$

«пространственно-временная» фрактальная размерность; C_k – величина, определяемая значениями Меллин-образа функции памяти F ; $\Omega = 2\pi/\ln \xi$.

Однако если в разложении ограничиться нулевой гармоникой, то комплексная восприимчивость приобретает вид стандартной зависимости Коула–Коула (2):

$$\chi(\omega) = \frac{1}{1 + (i\omega\tau)^\alpha},$$

где степенной показатель α определяется величиной «пространственно-временной» фрактальной размерности α .

Таким образом, в случае фрактальной среды множество времен релаксации самоподобного множества кластеров сводится к обычной модели Коула–Коула с параметрами, определяемым показателями самоподобия.

Отметим, что такая модель позволяет, в частности, по-новому взглянуть на показатель степени α в формуле Коула–Коула, смысл которого до сих пор остается не совсем ясным, а именно: величина α , учитывая ее связь с фрактальной размерностью самоподобного множества, моделирующего струк-



туру среды, позволяет связать изменение времен релаксации с изменением размеров неоднородностей, порождающих гетерогенность среды.

Из приведенной кластерной модели видно, что время релаксации кластера τ_i связано с его размером R_i соотношением

$$\tau_i = AR_i^{\alpha_f}, \quad (6)$$

где $A = \tau_0/R_0^\alpha$.

Например, при $\alpha = 1/2$ линейное изменение времени релаксации соответствует квадратичному изменению размеров неоднородностей. Именно такая связь $\tau \sim r^2$ закладывается при интерпретации данных ВП, например, в работе [18]. Учитывая, что обычно показатель степени в формуле Коула–Коула берется равным именно $1/2$, это вполне объяснимо.

В другом варианте исследуемая среда имеет сложную многокомпонентную структуру, в которой каждая компонента по-разному реагирует на приложенное внешнее поле, причем релаксация каждой компоненты слабо зависит от того, как происходит релаксация в других частях вещества. В этом случае можно сказать, что релаксация каждой компоненты идет по своему избранному каналу, а в среде в целом развивается релаксационный процесс одновременно по нескольким каналам. В такой многоканальной релаксации необходимо вводить функцию памяти для каждого канала. В этом случае осредненная восприимчивость может быть представлена в виде [10]

$$\chi(\omega) = \frac{1}{1 + \left[\sum_{n=1}^N (i\omega\tau_n)^{-\alpha_n} \right]^{-1}}.$$

Отметим, что для ВП теоретическое обоснование применимости формулы Коула–Коула для подобной модели, хотя и в несколько иной форме, было предложено М. С. Ждановым [20]. Это способствовало более широкому ее распространению.

Дисперсия и прогноз параметров среды

Возвращаясь к истолкованию в рамках фрактальной модели формулы Коула–Коула, следует отметить, что данная модель оперирует фактически двумя параметрами: генератором фрактала и фрактальной размерностью. Это в определенном смысле объясняет, почему с помощью такой модели удалось смоделировать соотношение Коула–Коула, которое фактически также обусловлено двумя параметрами. Именно в этом, с нашей точки зрения, заключается ее определенный недостаток. Как уже упоминалось, электромагнитные поля несут информацию о строении, литологии, трещиноватости, пористости и других свойствах горных пород.

Удельное сопротивление, фигурирующее в уравнениях Максвелла, не позволяет судить о таких параметрах. Введение частотной дисперсии сопротивления, в приближение Коула–Коула несколько меняет ситуацию. Например, формула (6) увязывает параметры этого приближения с определенными структурными особенностями среды. Тем не менее практически процесс релаксации полностью заменялся значениями двух параметров. Но достаточно ли этих параметров для описания свойств гетерогенной среды?

Для того чтобы ответить на этот вопрос, обратим внимание на еще один аспект, связанный с спецификой процессов релаксации во фрактальной среде, – возможность описания таких процессов во времени. В работах, опирающихся на фрактальную модель, показано, что процессы релаксации во фрактальной среде могут быть описаны уравнениями с дробными производными [5, 10].

Формальная схема получения уравнений релаксации, соответствующих соотношениям (3–5), достаточно проста и основана на понятии дробного дифференцирования. Это понятие в последние десятилетия все шире используется для описания самых разных процессов, не укладывающихся в рамки традиционных представлений уравнений Максвелла. Существуют различные определения дробной производной. Одно из наиболее распространенных – это определение Римана – Лиувилля [7]. В упрощенной форме его можно записать в виде

$$D_{+0}^\alpha [f(t)] = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \frac{d}{dt} \int_0^t \frac{f(\tau)}{t-\tau} d\tau.$$

Дробным производным свойственно довольно много особенностей, что приводит к определенным сложностям при практическом использовании этого аппарата.

Но отметим главное: в отличие от обычных производных, производная дробного порядка не локальная характеристика функции, она зависит не только от поведения функции в окрестности рассматриваемой точки x , но и от принимаемых ею значений на всем интервале $(0, x)$.

Рассмотрим для примера уравнение релаксации, приводящее к восприимчивости, описываемой формулой Коула–Коула.

Процедура получения такого уравнения в средах с памятью достаточно описана в работах, посвященных исследованию процессов релаксации несовершенных диэлектриков [5, 10, 16]. Эту процедуру можно использовать и в случае «плохих» проводников. В результате получим уравнение

$$(\tau^{-\alpha} + D_{+0}^\alpha)F(t) = 0. \quad (7)$$

Вводя условное обозначение

$$\frac{d^\alpha f(t)}{dt^\alpha} \equiv D_{+0}^\alpha [f(t)],$$

можем переписать выражение (7) в виде

$$\tau^\alpha \frac{dF^\alpha(t)}{dt^\alpha} = -F(t),$$

аналогичном традиционному уравнению дебаевской релаксации

$$\tau \frac{d\Phi(t)}{dt} = -\Phi(t); t > 0; \Phi(0) = \Phi_0.$$

Учитывая, что решение уравнения (7) в частотном режиме выражается формулой Коула–Коула, мы видим еще одно истолкование параметров τ и α .

Для получения уравнений в дробных производных возможен формальный путь, связанный с проведением обратного преобразования Лапласа соответствующих частотных выражений [5]. В частности, это можно сделать для всех зависимостей (3–5), т. е. временной аналог каждой из этих зависимостей может быть получен в виде решения некоторого уравнения, так же как стандартная дебаевская релаксация

Решения уравнений с дробными производными, как правило, выражаются специальными функциями типа функций Фокса. Для уравнения (7) решением является функция Миттаг-Леффлера [15]:

$$e_\nu(t) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{(t/\tau)^{\alpha n}}{\Gamma(\alpha n + 1)}, \quad t > 0, 0 < \alpha \leq 1.$$

Эта функция характеризует процесс релаксации сопротивления в рамках общей модели Коула–Коула и определяется теми же параметрами.

В частных случаях (при $\alpha = 1$ и $\alpha = 1/2$) временной процесс релаксации определяется аналитически. При $\alpha = 1$ алгоритм Коула–Коула описывает дисперсию Максвелла–Вагнера, а релаксация задается моделью Дебая [2]:

$$m(t) = m_0(1 - e^{-t/\tau}),$$

а при $\alpha = 1/2$ [2]:

$$m(t) = m_0(1 - e^{t/\tau} \operatorname{erfc} \sqrt{t/\tau}),$$

где $\operatorname{erfc}(x) = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-\lambda^2} d\lambda$.

Отметим, что эти аппроксимации процесса релаксации определяются теми же параметрами, которые фигурируют в формуле Коула–Коула и не несут новой информации о среде. Поэтому практически их используют только в математическом моделировании, например, для изучения влияния этих параметров на характер кривой спада ВП (рис. 1) [2].

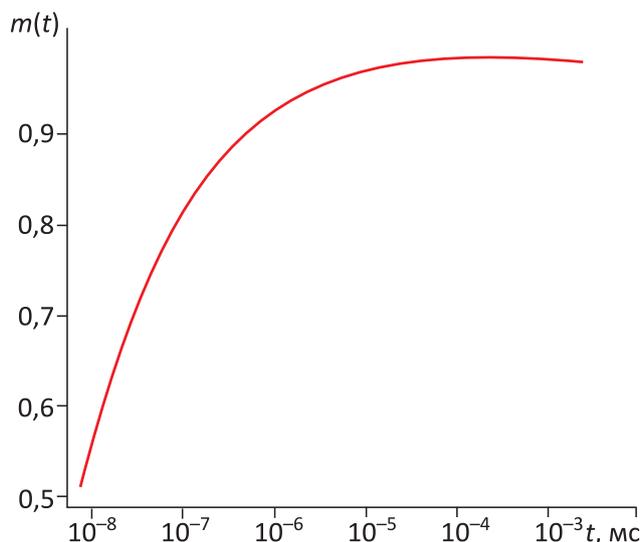


Рис. 1. Фрагмент кривой $m(t)$ при $\alpha = 0,5, \tau = 10^{-5}$ с [2]

В то же время изучение непосредственно полного процесса релаксации сопротивления может дать дополнительную информацию о свойствах среды. Рассмотрим релаксацию удельного сопротивления, возникающую в результате упругого воздействия: так называемый сейсмoeлектрический эффект первого рода (СЭЭ1). Этот процесс релаксации не является дебаевским. Соответственно, уравнение релаксации можно представить в виде уравнения в дробных производных

$$\frac{d^\alpha u(t)}{dt^\alpha} + \frac{1}{\tau} u(t) = 0, \quad \alpha < 1.$$

Решение такого уравнения представляется, как и в случае, рассмотренном выше, функцией Миттаг-Леффлера. Действительно, реально измеряемое в эксперименте изменение сопротивления хорошо аппроксимируется такой функцией при соответствующих значениях параметров (рис. 2).

Отметим, что практически все релаксации сопротивления, полученные в ходе физического моделирования сейсмoeлектрического эффекта с хорошей точностью, аппроксимировались функциями вида

$$\rho_\alpha(t) = A \exp\left(-\left(t/\tau\right)^\alpha\right), \quad (8)$$

совпадающими с одной из асимптотик функций Миттаг-Леффлера – экспоненциальным законом Кольрауша–Уильямса–Уоттса [19]:

$$e_\alpha(t) \sim \exp\left[-\frac{(t/\tau)^\alpha}{\Gamma(1+\alpha)}\right].$$

Таким образом, процесс релаксации сопротивления в СЭЭ1 также может быть описан с помощью параметров τ и α . Но, как правило, сейсмoeлектрический эффект характеризуется только амплитудой, аномальные значения которой связываются с зона-

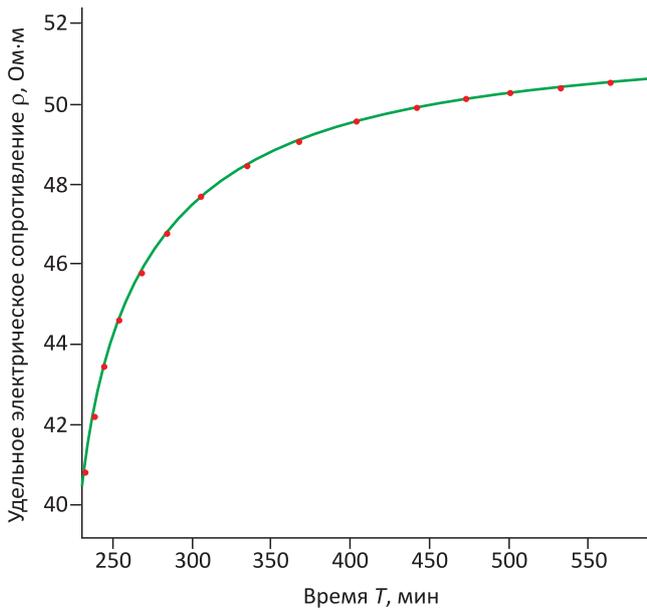


Рис. 2. Релаксация сопротивления на образце карбонатных пород (точки) и ее аппроксимация (сплошная линия) функцией Миттаг-Леффлера при $\tau = 53$ мин, $\alpha = 0,59$

ми повышенной трещиноватости. Это в совокупности с методами электроразведки позволяет прогнозировать возможное наличие коллекторов. Заметим, что такой эффект также существенно зависит от литологических и петрофизических параметров горных пород.

В порядке эксперимента была рассмотрена возможность прогноза таких параметров по характеристикам изменения сопротивления в СЭЭ1. На рис. 3 показан результат прогноза по амплитуде и времени релаксации.

Ситуация существенно меняется при использовании полных кривых изменения сопротивления. В этом случае связи между параметрами характеризуются аттрактором, моделирующим поведение динамической системы, которая определяет процесс изменения сопротивления в результате упругого воздействия. Подробнее схема использования такого подхода рассмотрена в работе [9]. По полным

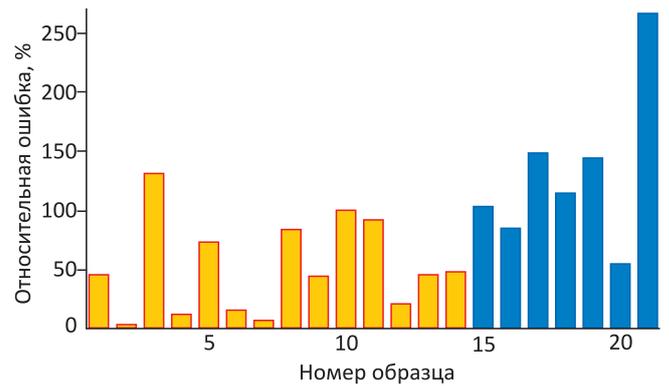


Рис. 3. Относительная ошибка прогноза коэффициента пористости по амплитуде и времени релаксации на двух коллекциях образцов (1–14 – теригенные, 15–21 – карбонатные)

кривым изменения сопротивления можно получить удовлетворительные прогнозные оценки (рис. 4).

Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности изучения и использования функций «памяти», или, другими словами, непосредственно процессов релаксации параметров среды. При этом даже из процесса, аппроксимируемого одним набором параметров Коула–Коула, можно извлечь дополнительную информацию о структурных особенностях среды.

В случае, когда в среде происходит сложный процесс, обусловленный комбинацией временных спадов, соответствующих набору различных параметров Коула–Коула, можно рассмотреть дополнительные варианты анализа полного процесса релаксации удельного сопротивления.

Характерная особенность этого процесса – его неэкспоненциальность. Мы уже отмечали, что в определенном приближении такие процессы аппроксимируются функцией Кольрауша – Уильямса – Уотса. В одном из известных формальных подходов [12, 13] предполагается, что неэкспоненциальная релаксация Кольрауша появляется вследствие того, что характеризующая ее корреляционная функция является суперпозицией экспоненциальных корре-

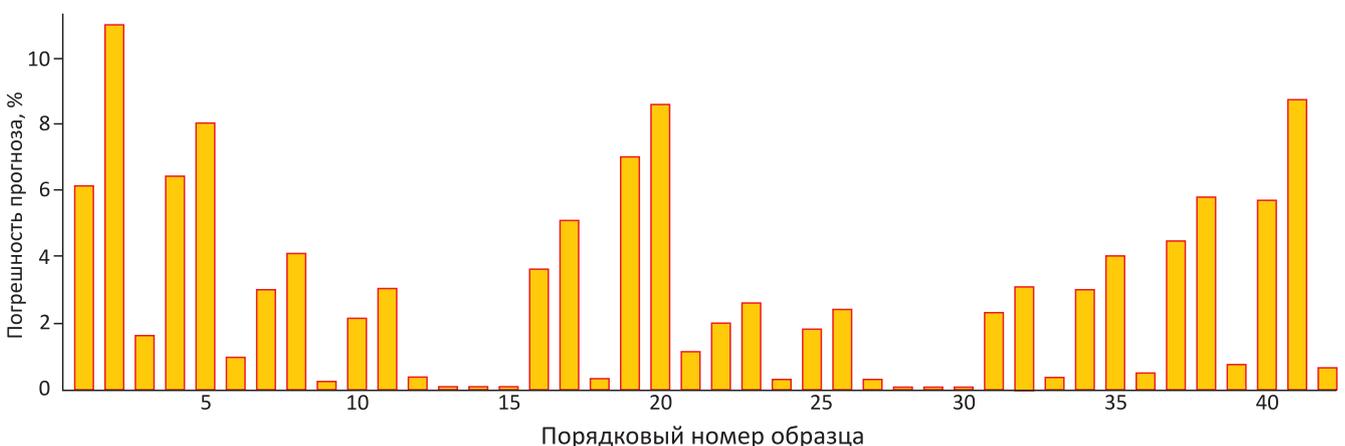


Рис. 4. Погрешность прогноза пористости по полным кривым релаксации сопротивления

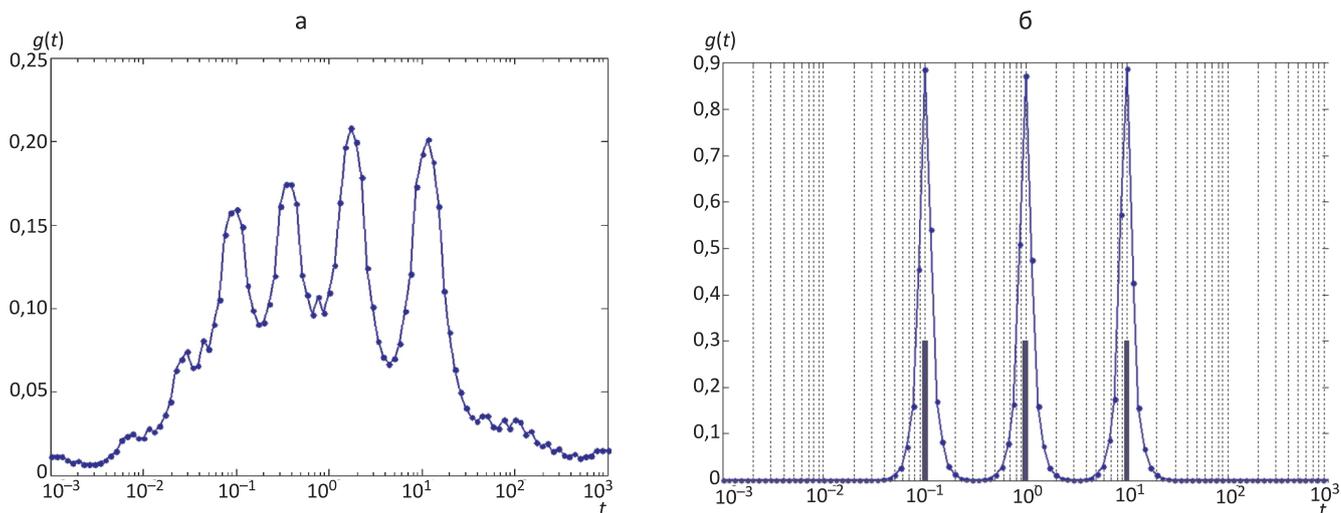


Рис. 5. Результат восстановления РВП для суммарной модели с тремя различными параметрами Коула–Коула ($\tau = 0, 1, 10, \alpha = 0,5$): а – вариант дебаевского спектра, б – вариант экспоненциального закона Кольрауша – Уильямса – Уотса

ляционных функций с некоторыми весовыми коэффициентами вида

$$\exp(-\alpha t^\beta) = \int_0^\infty s(\tau) \exp(-t/\tau) d\tau.$$

Это дает основание интерпретировать произвольную недебаевскую релаксацию как релаксацию макроскопической системы, содержащей очень большое количество подсистем с экспоненциальной релаксацией.

В связи с этим можно отметить методику интерпретации данных ВП, построенную по аналогии с диэлектрической спектроскопией и базирующуюся на концепции распределения времен релаксации (РВП), когда нормированная макроскопическая функция релаксации $f(t)$ представляется в виде комбинации экспоненциальных функций с подходящими амплитудами и временами релаксации. Аналогичная методика в электроразведке получила название «дебаевская декомпозиция» [11, 17].

При этом в соответствии с упомянутым подходом предполагается непрерывное распределение времен релаксации и задача декомпозиции в общем случае сводится к решению интегрального уравнения

$$v(t) = \int_0^\infty g(\tau) F(t, \tau) d\tau,$$

где $g(\tau)$ – функция РВП; $F(\tau, t)$ – известная функция, представляющая свертку модельного спада поляризационного процесса с реальным сигналом в источнике. Но в реализованной схеме [5, 6] в соответствии с упомянутым подходом в качестве функции F рассматривается дебаевский спектр. При этом интегральное уравнение можно записать как

$$v(t) = \int_0^\infty g(\tau) \exp(-t/\tau) d\tau.$$

Уже отмечено, что такой подход к описанию неэкспоненциальной релаксации, каким, собственно, является процесс спада ВП, основывается на предположении, что релаксирующая макроскопическая система состоит из подходящего числа подсистем, каждая из которых релаксирует с собственным временем релаксации. Несомненно, что это предположение может быть справедливо для многих систем, но несомненно и то, что такое разбиение на подсистемы имеет реальный физический смысл только в случае, когда число подсистем конечно и сравнительно невелико. Но тогда суммарный процесс не получится неэкспоненциальным.

Мы показали, что процесс релаксации во фрактальных подсистемах не является дебаевским. Поэтому более целесообразно пользоваться аналогом уравнения (2), взяв в качестве функции F функцию Миттаг-Леффлера, но модельный эксперимент показывает, что можно взять и асимптотическое приближение типа Кольрауша – Уильямса – Уотса (формула (8)).

Использование этого выражения в качестве ядра вместо дебаевских экспонент позволяет получить более точные параметры РВП (рис. 5).

С помощью такого распределения, пользуясь соотношением времен релаксации и размеров неоднородностей, приведенными ранее, также можно получить определенную информацию о структуре среды.

Выводы

В традиционном феноменологическом подходе к теории электромагнитных полей в пористых флюидонасыщенных средах, связанном с описанием влияния частотной дисперсии на основе широко



известной формулы Коула–Коула, можно отметить новые аспекты.

Использование фрактальной модели среды и уравнений в дробных производных позволяет взглянуть на вопросы обоснования параметров, входящих в формулу Коула–Коула, с более общих позиций, в частности, на вопросы связи этих параметров со свойствами неоднородной среды и модель релаксации удельного сопротивления. Так, на основе фрактальной модели показана связь изменения времени релаксации с изменением характерного размера элементов микроструктуры среды. Такая связь заложена в степенном показателе формулы Коула–Коула.

Использование решений уравнений в дробных производных позволяет в рамках приближения Коула–Коула уточнить распределение времен релаксации для процессов, характеризующихся несколькими показателями Коула–Коула, используя в качестве функции памяти закон Коула–Уильямса–Уотса.

Показано сходство релаксационной модели теории вызванной поляризации и модели изменения удельного сопротивления при упругом воздействии (сейсмоэлектрический эффект первого рода). Это открывает возможность прогноза таких параметров гетерогенной среды, как пористость и проницаемость, на основе анализа полной кривой релаксации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гейзенберг В.** Роль феноменологических теорий в системе теоретической физики // Успехи физических наук. – 1967. – Т. 91, вып.4. – С. 31–33.

2. **Каменецкий Ф. М., Тригубович Г. М., Чернышев А. В.** Три лекции о вызванной поляризации геологической среды. – М.: EAGE, 2014. – 58 с.

3. **Кормильцев В. В.** Вызванная поляризация в уравнениях электродинамики. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1981. – 44 с.

4. **Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.** Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1982. – 620 с

5. **Новиков В. В., Комкова О. А.** Диэлектрическая релаксация Коула–Коула // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2004. – № 5. – С. 61–64.

6. **О связи феноменологического описания вызванной поляризации среды с происходящими в ней физическими процессами. Постановка вопроса / Б. С. Светов, С. Д. Каринский, О. А. Агеева, В. В. Агеев // Геофизика. – 2011. – № 4. – С. 25–29.**

7. **Самко С. Г., Килбас А. А., Маричев О. И.** Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. – Минск.: Наука и техника, 1987. – 668 с.

8. **Тригубович Г. М., Каменецкий Ф. М.** Феноменология вызванной поляризации // Геофизика. – 2013. – № 1. – С. 80–83.

9. **Филатов В. В.** Динамические системы и задачи геолого-геофизического прогноза // Разведка и охрана недр. – 2012. – № 2. – С. 85–90.

10. **Хамзин А. А., Нигматуллин Р. Р., Попов И. И.** Микроскопическая модель недебаевской диэлектрической релаксации. Закон Коула–Коула и его обобщение // Теоретическая и математическая физика. – 2012. – Т. 173, № 2. – С. 314–331.

11. **Application of the Debye decomposition approach to time domain induced polarization profiling data: a mining example / G. Gurin, A. Tarasov, Yu. Ilyin, K. Titov // 3rd International Workshop on Induced Polarization (6–9 April). Abstracts. – Oléron Island, France, 2014. – P. 104–105.**

12. **Beckmann P. A.** Spectral densities and Nuclear Spin Relaxation in solids // Phys. Rep. – 1988. – Vol. 71 – P. 85–128.

13. **Dieterich W., Maass P.** Non-Debye relaxations in disordered ionic solids // Chem. Phys. – 2002 – Vol. 284. – P. 439–467.

14. **Jonscher A. K.** Dielectric Relaxation in Solids. – London: Chelsea Dielectric Press, 1983. – 380 p.

15. **Goreno R., Loutchko J., Luchko Yu.** Computation of the Mittag-Leffler function and its derivatives // Fract. Calc. Appl. Anal. – 2002. – Vol. 5. – P. 491–518.

16. **Khamzin A.A., Nigmatullin R.R., Popov I. I.** Log-periodic corrections to the Cole-Cole expression in dielectric relaxation // Physica A. – 2013. – Vol. 392, no. 1. – P. 36–148.

17. **Tarasov A., Titov K.** Relaxation time distribution from time domain induced polarization measurements // Geophys. J. Int. – 2007. – Vol. 170, no. 1. – P. 31–43.

18. **Volterra V.** Theory of Functionals and of Integral and Integro-differential Equations. – London: Blackie&Son, 1931. – 226 p.

19. **Williams G., Watts D. C.** Non-symmetrical dielectric relaxation behaviour arising from a simple empirical decay function // Trans. Faraday Soc. – 1970. – Vol. 66. – P. 80–85.

20. **Zhdanov M.** Generalized effective-medium theory of induced polarization // Geophysics. – 2008. – Vol. 73, no. 5. – P. F197–F211.

В. В. Филатов, 2017



ТЕХНОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ И ОЦЕНКЕ КИНЕМАТИКИ ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ (НА ПРИМЕРЕ ГЕОТРАВЕРСА 1-СБ В ЗАБАЙКАЛЬЕ)

Д. И. Рудницкая, М. В. Корнилов, Е. В. Мосягин

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

На базе программного комплекса ReapakRK+ разработана технология сейсмоструктурного анализа для гетерогенной среды в земной коре. Ее применение с использованием результатов сейсмических наблюдений отраженными волнами в модификации сверхглубинного ОГТ по геотраверсу 1-СБ (Забайкалье) дало новые представления о тектоническом строении земной коры этого региона. В частности, на участке, относящемся к Монголо-Забайкальской складчатой области и Пришилкинской зоне смятия, выявлены признаки глубинных разломов с кинематикой горизонтальных сдвигов. По структуре и атрибутивным характеристикам сегментов этих разломов выделены магистральные каналы возможного прохождения магматических расплавов и термальных растворов в верхние части земной коры, а также магматические камеры их возможной аккумуляции. Эти данные представляют интерес при поисках и разведке рудных месторождений в юго-восточном Забайкалье.

Ключевые слова: Reapak-атрибуты, разрез ОГТ, сейсмическая инверсия, разрез ЭКО, отражатели, разломы, сдвиговые дислокации, пулл-апартовые структуры.

TECHNOLOGY AND RESULTS OF SEISMOTECTONIC ANALYSIS WHEN IDENTIFYING AND ESTIMATING TRAVELTIME CHARACTERISTICS OF DEEP FAULTS IN THE EARTH'S CRUST: THE CASE OF GEOTRAVERSE 1-SB IN TRANSBAIKAL

D. I. Rudnitskaya, M. V. Kornilov, E. V. Mosyagin

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

The ReapakRK+ software system enabled the development of a seismotectonic analysis technology to be applied to the heterogeneous medium of the Earth's crust. The technology, together with the use of ultra-deep CDP data from Geotransverse 1-SB in Transbaikal, allowed us to gain a new vision of the tectonic structure of the Earth's crust in the region. In particular, signatures of deep faults with traveltime characteristics of horizontal displacement have been identified in the area pertaining to the Mongolian-Transbaikalian folding region and the Prishilkinskaya shear zone. Possible main channels of flowing of magmatic melts and thermal solutions in the upper crust and magmatic chambers of their possible accumulation were identified from the structure and attribute characteristics of the segments of these faults. These data are important in searching and prospecting for ore deposits in the south-eastern Transbaikal.

Keywords: Reapak attributes, CDP section, seismic inversion, ECO section, reflectors, faults, shears, pull-apart structures.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6c-147-155

Забайкалье является одной из наиболее перспективных территорий РФ в плане обнаружения и освоения новых рудных месторождений, приуроченных к тектонически активным зонам, где развивались разрывные деформации в земной коре. Передвижение рудных расплавов и кристаллизация рудоносной магмы в зонах тектономагматической активизации связаны с локальным повышением проницаемости среды. В результате могли формироваться флюидные системы переноса и аккумуляции рудоносных магматических расплавов. Существование таких систем связано с характеристиками напряженного состояния среды и типами реализации этих напряжений при образовании разрывных нарушений. Так, например, особые зоны повышенной проницаемости в земной коре могли быть результатом разрешения тангенциальных напряжений при сдвиговых деформациях. С разломами со смещением по латерали генетически связано, в част-

ности, формирование глубинных и поверхностных пулл-апартовых структур, представляющих значительный интерес при поисках месторождений как рудных, так и углеводородных полезных ископаемых. Обнаружение подобных структур, в свою очередь, связано с изучением тектонического строения всей земной коры с оценкой природы, морфологии и кинематики разрывных нарушений, выделяемых на всех ее структурных этапах.

Эффективным методом изучения строения земной коры являются сейсмические наблюдения отраженными волнами в модификации сверхглубинного ОГТ (СГ-ОГТ). Такие наблюдения с записью волнового поля до 24 с выполнены в 2015 г. по геотраверсу 1-СБ (Забайкалье). Часть маршрута этого геотраверса (рис. 1) проходит через Монголо-Забайкальскую складчатую область, относящуюся к Центрально-Азиатскому складчатому поясу. Он пересекает систему дизъюнктивных наруше-

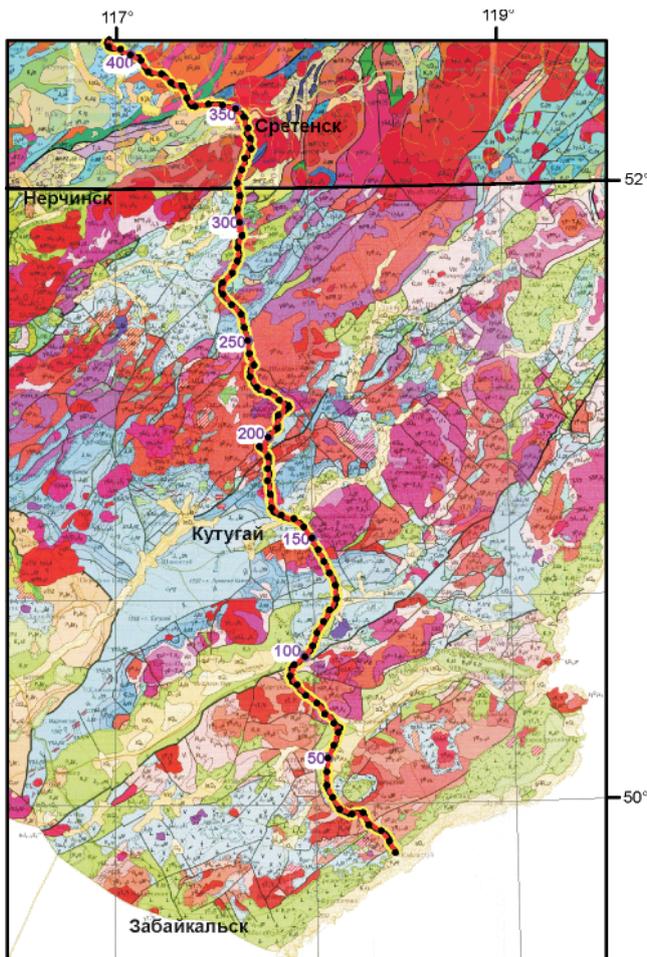


Рис. 1. Расположение профиля 1-СБ на геологической карте РФ, м-б 1:1 000 000 (ВСЕГЕИ, Читагеолсъёмка, 2010)

ний, которые нанесены на геологическую карту РФ третьего поколения (лист М-50) [1]. Это разломы: Чиндагинский (пересечение с профилем на 5 км), Аргунский (на 35 км), Кальдерный (на 57 км), Северо-Урулюнгуйский (на 65 км), Пограничный (между 90 и 95 км), Газимурский (на 155 км), Борзя-Газимурский (на 195 км), Верхнегазимурский (на 200 км), Куренгинский (между 240 и 250 км), Южно-Борщовочный (на 310 км), Нерчинско-Заводской (на 320 км), Монголо-Охотский (между 345 и 365 км). На местности все эти нарушения фиксируются по резкой незакономерной смене пород, по направлению зон брекчий, милонитов, гидротермальных жил и метасоматических образований. Часть разломов дешифруется на аэро- и космоснимках. По кинематическим характеристикам они относятся к надвигам, сбросам и сдвигам с различными, часто не установленными амплитудами.

В объяснительной записке к геологической карте РФ [1] и в обзорной статье [4] описаны этапы развития представлений о тектоническом строении Забайкалья. Показано, что, несмотря на длительную историю исследований этого сложнейшего региона, здесь достаточно хорошо изучена лишь приповерхностная часть разреза. Именно к ней можно отнести и выделенные на геологической карте дизъюнктивные нарушения, которые сформировались в началь-

ной стадии орогенеза с подъемами крупных блоков в мезозойский период. В то же время слабо изучено глубинное строение земной коры Забайкалья, в том числе глубинные проявления разломной тектоники, морфология разрывных нарушений, геодинамические обстановки разных структурных этажей земной коры, их тектонические перестройки. Лишь в работе [3] на модели, построенной по результатам ретроспективных гравитационных исследований, структура земной коры представлена несколькими этапами с различными геодинамическими режимами и тектоническими перестройками.

Полученные новые сейсмические данные по геотраверсу 1-СБ дают реальную возможность расширить представления о глубинном строении земной коры, о природе и морфологии разрывных нарушений, а в перспективе – связать это с факторами рудообразования и с прогнозированием зон зарождения рудоносных магматических очагов. В частности, эти данные дают богатый материал для изучения глубинных характеристик указанных разломов в вертикальном срезе земной коры, для оценки их природы и кинематики. Поскольку особенности подхода к обработке и интерпретации сейсмических данных в разрезе земной коры тесно связаны с характером ее гетерогенного строения, все построения выполнялись в рамках Реапак-технологии [5] с расчетом динамических и геометрических атрибутов сейсмической записи.

Сейсмический разрез земной коры, имеющей гетерогенное строение [2], обычно представлен многочисленными непротяженными системами многофазных волновых пакетов. Природу этих пакетов можно связать с первичной микро- и макросланцеватостью метаморфических пород, структура которых в течение геологического времени нарушалась последующими тектоническими процессами, в том числе разрывными дислокациями. Амплитуды волн в этих пакетах, размеры соответствующих им сейсмических границ (площадок), наклоны площадок, плотность заполнения ими геологической среды и другие атрибуты сейсмической записи можно рассматривать в качестве реальных характеристик земной коры, а геометрические характеристики – в качестве проявления форм ее структурного каркаса. Однако для непротяженных границ гетерогенной среды, сейсмическая запись которых часто воспринимается как хаотическая, возможность визуальных оценок их структуры существенно ограничена по сравнению со слоистыми разрезами осадочных толщ [7]. Поэтому для выполнения сейсмотектонического анализа в условиях гетерогенной среды необходимо расширение объемов численной информации о динамических и геометрических атрибутах сейсмической записи. К ее численным оценкам можно отнести размеры отражающих элементов (границ, площадок), значения их коэффициентов отражения, наклоны отражателей и плотность заполнения ими среды, периодичность следования



отражателей на временной оси (видимая частота отражателей) и другие характеристики.

Следует заметить, что для возможности расчета этих характеристик прежде всего необходимо, чтобы все отражающие элементы (границы-отражатели) сейсмического разреза были определены в плоскости координат сейсмического профиля $A(t, x)$. Поскольку структура сейсмического разреза (в любой из существующих систем обработки данных МОВ) всегда представлена в координатах трасс, базовым условием расчетов этих атрибутов является определение координат выделенных границ (площадок), что, в принципе, может быть осуществлено с помощью автоматической корреляции сейсмического разреза. Как известно, автоматическая корреляция волновой сейсмической записи – это достаточно сложная проблема сейсморазведки, и в настоящее время она решена лишь для ограниченного количества протяженных опорных границ. В системе РеапакРК+ [5] автоматическую корреляцию границ удалось осуществить без ограничения размеров отражателей и их количества. Решающим фактором, обеспечившим успех решения вопросов корреляции, стало предварительное инверсионное преобразование волновой сейсмической записи в импульсную характеристику среды. Это существенно упростило последующий процесс идентификации элементов границ. Полный технологический процесс расчета Реапак-атрибутов сейсмического разреза в системе РеапакРК+ реализуется в несколько этапов.

На *первом этапе* рассчитывается импульсная характеристика среды. Для этого волновая запись (полученная любым методом реализации волнового продолжения) разделяется на сверточные компоненты: элементарный сигнал и импульсную реакцию среды. Полученная импульсная реакция состоит из временной (либо глубинной) последовательности единичных импульсов, которые представлены рядом эффективных коэффициентов отражения (ЭКО), записанных в размерности амплитуд зарегистрированных волн (A).

На *втором этапе* выполняется автоматическая корреляция полученных разрезов ЭКО. Основной функцией этого этапа является алгоритм группирования единичных импульсов в системы отражателей $A(t, x)$ с позиционированием их в координатах сейсмического профиля. Этот алгоритм построен на сопоставлении ЭКО-элементов текущей трассы с ЭКО-элементами предыдущих трасс в цикле их перебора начиная с первой и заканчивая последней. После процедуры автоматической корреляции импульсов ЭКО-трасс получаем структурно-динамический разрез ЭКО, представленный в координатах отражателей (дискретизированный по линии наблюдения и по времени). Иными словами, скоррелированный ЭКО-разрез представляет собой динамический массив ЭКО-элементов (A, t), которые можно рассматривать как массив ЭКО-отражателей (рис. 2).

Начало каждого отражателя имеет координату x , и в каждом отражателе зафиксирована его длина (число элементов ЭКО).

Автоматически откоррелированный ЭКО-разрез является основой для расчета динамических и геометрических Реапак-атрибутов, выполняемых на *третьем этапе*. Расчеты ведутся по методу «бегущего окна» с организацией вложенных циклов по двум осям. В каждом выбранном интервале окна рассчитываются следующие характеристики сейсмического разреза: суммы положительных, отрицательных и абсолютных значений ЭКО (отраженная энергия); число отражателей, попадающих в окно, их суммарная и средняя протяженность; наклоны отражателей, их видимая частота (периодичность следования) и др. Каждый атрибут графически изображается цветокодированным полем и совмещается с разрезом ЭКО. В качестве примера небольшие фрагменты трех наиболее информативных полей (отраженной энергии, углов наклонов отражателей и их видимой частоты), полученные по геотраверсу 1-СБ, показаны на рис. 3. Окна расчета для отраженной энергии составили 300 трасс на 300 мс, для наклонов и видимой частоты отражателей – 300 трасс на 500 мс. Там же приведены гистограммы атрибутов и палитры числового кодирования каждого поля в абсолютных и относительных значениях. Разные атрибуты сейсмической записи характеризуют разные аспекты строения среды. Для исследования структуры гетерогенной среды очень важны характеристики углов наклонов отражателей, поскольку именно они формируют каркас структурно-тектонической модели.

Полевые сейсмические материалы, полученные по профилю 1-СБ, были в нескольких вариантах обработаны с применением программных комплексов ProMAX SeisSpace (Halliburton Landmark) и Geocluster (CGG). Для дальнейшей обработки разреза ОГТ в системе РеапакРК+ (расчета разрезов ЭКО и Реапак-атрибутов) в качестве входных данных использован вариант временного разреза ОГТ (рис. 4, а), для которого выбор процедур обработки полевых материалов был ограничен требованиями корректности последующих сейсмоинверсионных преобразований. К обязательным требованиям, в частности, относилось исключение процедур переменной во времени полосовой фильтрации и ограничения в использовании когерентных фильтров.

Сейсмический разрез, который использовался в системе РеапакРК+ можно охарактеризовать следующими особенностями в обработке:

– учет верхней части разреза до глубин 500–700 м с использованием модели ВЧР, построенной по первым вступлениям преломленных волн, что позволило минимизировать влияние рельефа поверхности и приповерхностных скоростных неоднородностей на результат расчета геометрических Реапак-атрибутов;

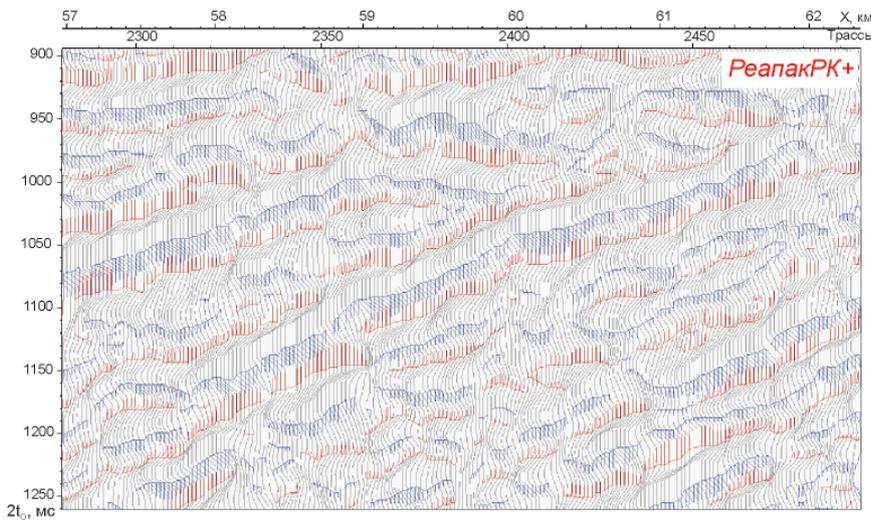


Рис. 2. Фрагмент разреза ЭКО после автоматической коррекции отражателей, «подложка» – исходный разрез ОГТ

- 1 Отражатели со знаком ЭКО: 1 – положительным, 2 – отрицательным; 3 – волновая запись разреза ОГТ

– тщательное подавление высокоамплитудных помех без искажения динамики волнового поля, а также многоитеративное применение процедур поверхностно согласованной нормировки амплитуд, что компенсировало динамические аномалии, связанные с ВЧР;

– выполнение процедуры миграции до суммирования с уточнением скоростей по мигрированным сейсмограммам, что позволило получить более правильное и сфокусированное изображение отдельных элементов среды;

– отказ от использования процедур многооконной регулировки усиления, переменного по времени полосового фильтра и «жестких» когерентных процедур.

Таким образом, при обработке была достигнута временная и пространственная разрешенность,

достаточная для корректного преобразования волновой записи в импульсную характеристику среды и для расчета динамических и геометрических атрибутов сейсмического разреза.

В качестве базовых атрибутивных характеристик разреза, на которых основаны сеймотектонический анализ и построение геологической модели земной коры юго-восточной части Забайкалья, использованы поля трех Реапак-атрибутов: отраженной энергии (см. рис. 4, б), наклонов (рис. 5, в) и видимой частоты (см. рис. 5, г) отражателей.

Поля Реапак-атрибутов, полученные по профилю 1-СБ, имеют разную структуру аномалий и характеризуют разные аспекты строения земной коры. Так, поле отраженной энергии отображает акустическую дифференциацию среды, т. е. степень акустической контрастности расслоенных пачек пород

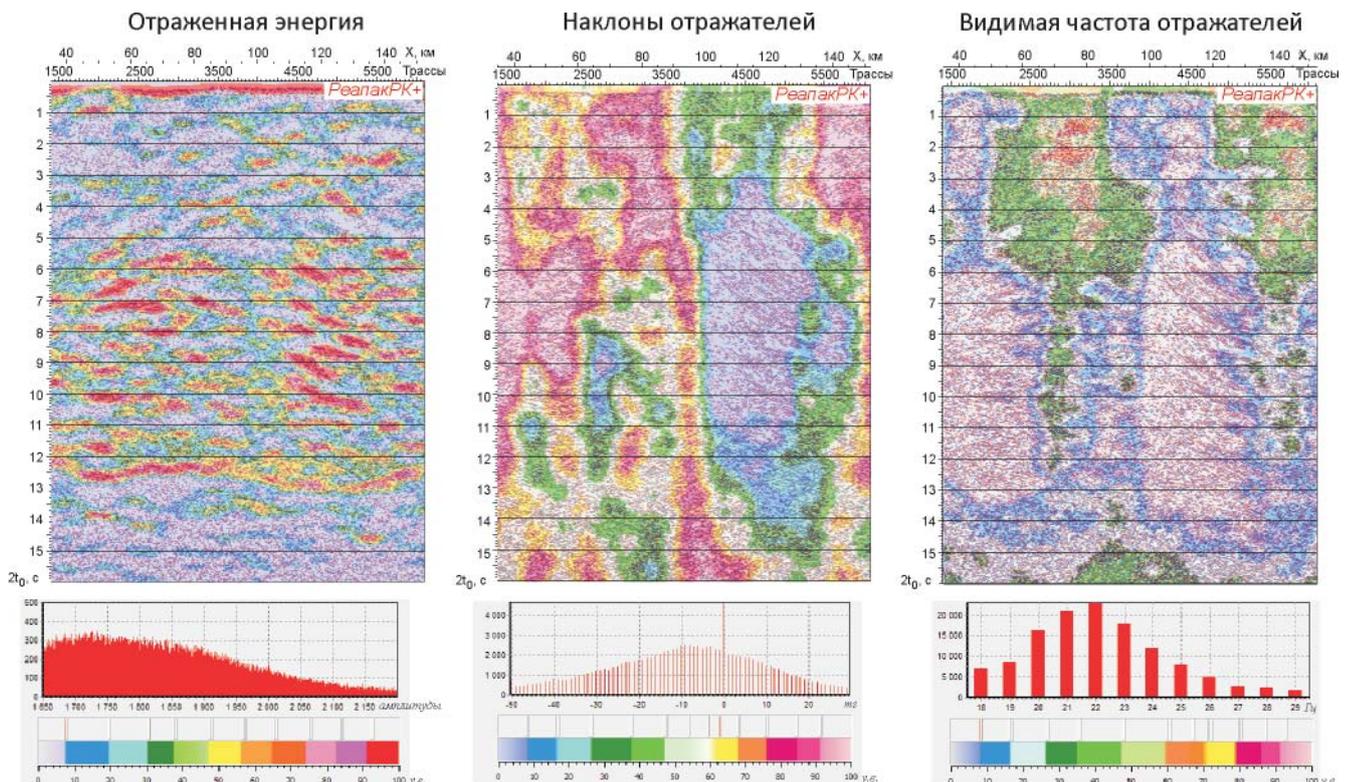


Рис. 3. Фрагменты полей Реапак-атрибутов с гистограммами и палитрами их числового кодирования

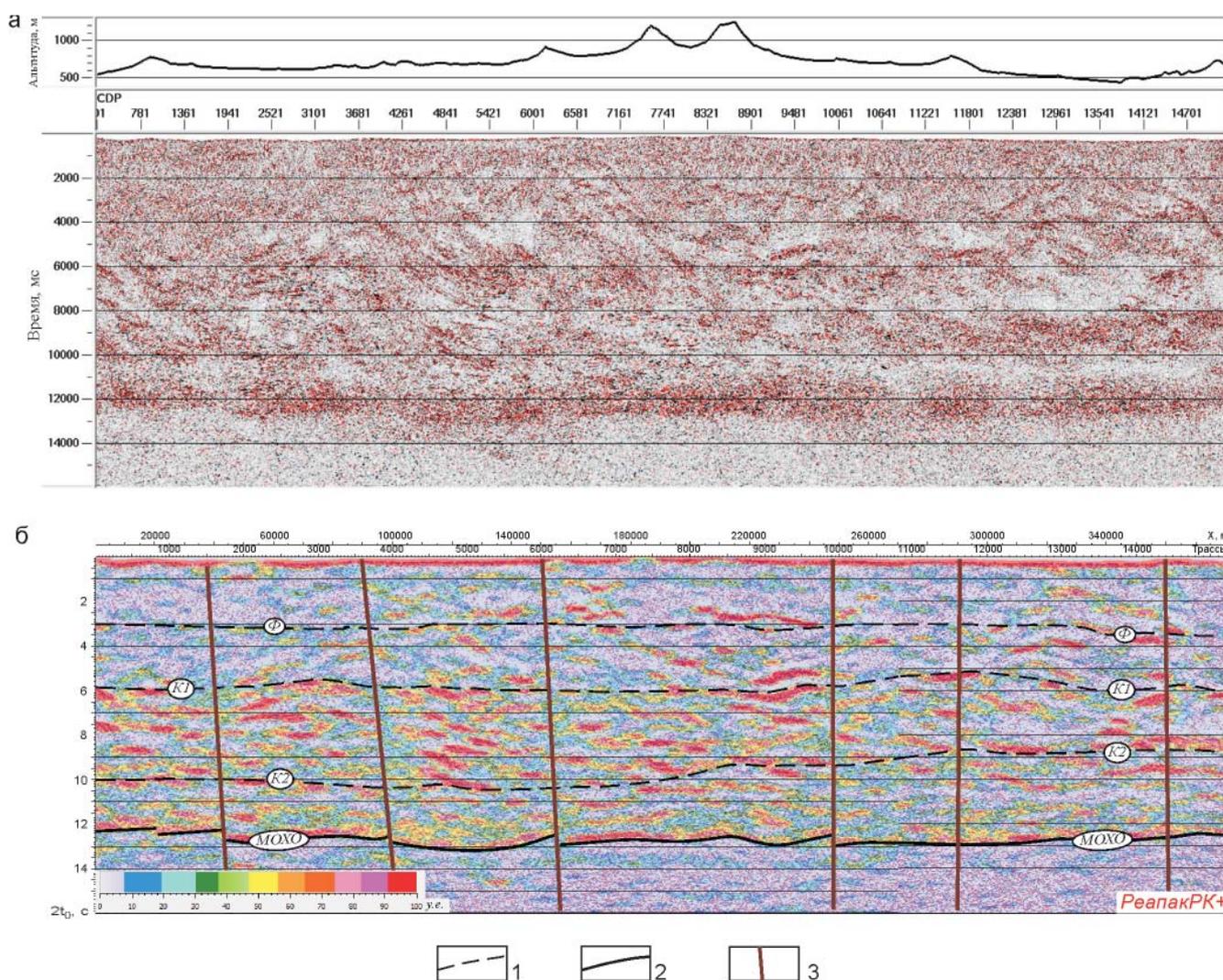


Рис. 4. Разрез ОГТ (а), совмещенный с полем отраженной энергии (б). Восточное Забайкалье, профиль 1-СБ
Границы: 1 – макрослоев, 2 – Мохо; 3 – разломы

земной коры. Оно представлено многочисленными положительными линзообразными аномалиями отраженной энергии (70–90 усл. ед.), разделенными относительно «прозрачными» участками их более низких значений (10–40 усл. ед.), что подчеркивает фрагментарность слоистости разреза земной коры. Энергетические характеристики этого поля связаны с качественным составом пород, степенью их метаморфизма, текстурой и структурой их расланцованности, а также реологическими условиями среды. Структура поля наклонов отражателей характеризует геометрию строения земной коры. Цветовая палитра поля определяет ориентировку (подъем либо погружение) групп площадок (при рассмотрении профиля в определенном ракурсе). Так, в соответствии с выбранной палитрой цветокодирования и ракурсом рассмотрения поля слева направо на приведенном поле наклонов отражателей красный цвет характеризует воздымание площадок в направлении возрастания пикетов сейсмического профиля, а сине-голубой – их погружение. По ориентации наклонов площадок и линиям угловых несогласий устанавливаются формы генерализован-

ных структур разреза, положение и строение линий разломов. Поле видимой частоты отражателей показывает периодичность следования площадок на вертикальной оси. С определенной долей условности низкие значения видимой частоты можно связать с областями растяжения расслоенной породы, а более высокие – с областями ее сжатия. Области низких значений видимой частоты в сочетании с низкими значениями отраженной энергии (прозрачные зоны) можно также объяснить наличием в разрезе интрузивных тел.

В результате интерпретации полей Реапак-атрибутов построена макро модель земной коры по участку профиля протяженностью 380 км (см. рис. 5). Она освещает часть Центрально-Азиатского складчатого пояса, относящуюся к Монголо-Забайкальской складчатой области. Эта область в северной части профиля подходит к Пришилкинской зоне смятия, включающей зону Монголо-Охотского глубинного разлома. Макро модель представлена макрослоями и макроблоками, разделенными разломами. Все поля атрибутов, на которые нанесены геологические элементы модели, изображены с подложкой разре-

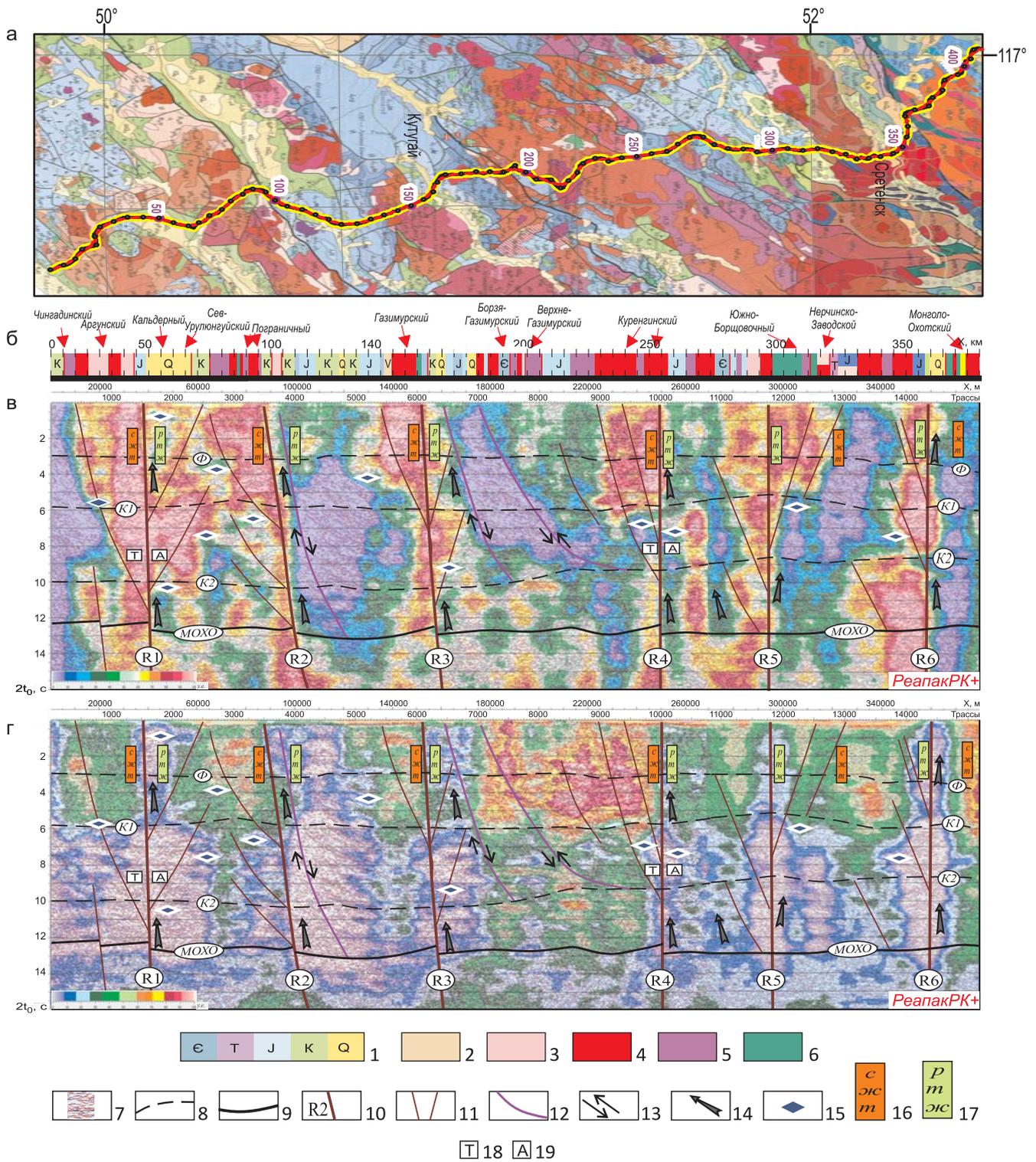


Рис. 5. Сейсмотектоническая модель земной коры, сопоставленная с фрагментом геологической карты (а) и вырезкой из нее (б) и совмещенная с полями сейсмических атрибутов: наклонов (в) и видимой частоты (г). Восточное Забайкалье, профиль 1-СВ

1–6 – вырезка из геологической карты: 1 – осадочные образования фанерозоя; 2 – образования протерозоя; интрузивные образования составов: 3 – кислого, 4 – среднего 5 – основного и ультраосновного, 6 – разломы; 7–19 – поля атрибутов сейсмического профиля 1-СВ: 7 – группы отражателей разреза ЭКО; границы: 8 – макрослоев; 9 – Мохо; 10 – оси разломов; 11 – оперяющие элементы осей разломов; 12 – сбросы; 13 – направление движения блоков при сбросах; 14 – возможные пути движения магматических растворов; 15 – магматические камеры (пулл-апараты); блоки в состоянии: 16 – сжатия, 17 – растяжения; направление движения блоков: 18 – к наблюдателю, 19 – от наблюдателя

за ЭКО. Поле отраженной энергии сопоставлено с исходным разрезом ОГТ (см. рис. 4), а поля наклонов и видимой частоты отражателей – с геологической

картой и узкой полосой ее «среза» по линии профиля, на которой указаны положения закартированных ранее разломов (см. рис. 5).



Поле отраженной энергии – основной источник информации для выделения в земной коре фрагментарных элементов повышенной и пониженной расчлененности и конструирования на их основе крупных слоев макромоделей. Разделение земной коры на макрослои выполнено по различию уровня фона значений отраженной энергии и по степени насыщенности разреза положительными энергетическими аномалиями. Эти критерии были дополнены различиями в структуре макрослоев на полях средней и суммарной длины отражателей, а также общими представлениями о строении континентальной земной коры на территориях складчатых областей, к которым относится Восточное Забайкалье. Верхний макрослой с наименее выраженной расчлененностью, ограниченный снизу кровлей кристаллического фундамента (Ф), отнесен к складчатым структурам верхней части разреза. Он представлен магматическими породами разного возраста (от протерозойского до мезозойского) и состава, на которые наложены узкие впадины, заполненные вулканогенно-осадочными отложениями юры и мела. Остальная часть земной коры по фоновым значениям отраженной энергии, степени акустической расчлененности, протяженности отражателей, качественному составу и реологическим характеристикам пород разделена условными границами K1 и K2 и границей Мохо на три макрослоя: верхний (гранитоидный), средний (гранулитовый) и нижний (базитовый). В нижнем макрослое выделен пояс «рефлексивити», с высокой степенью расчлененности пород, нижняя граница которого является подошвой земной коры – границей Мохо. Низкоэнергетические разрывы между отдельными линзообразными структурами этого поля можно связать с окнами и каналами, через которые вероятно проникновение магматических расплавов, флюидонасыщенных термальных растворов и тепловых потоков из мантийного слоя в верхние части земной коры. Это является благоприятным фактором для формирования месторождений полезных ископаемых.

Тектонические элементы разреза – разломы и разделяемые ими блоки – наиболее четко проявлены на поле наклонов отражателей. Это поле (см. рис. 5, в) разделено на крупные аномалии разных направлений углов наклона. В ориентации структуры данных аномалий доминируют субвертикальные элементы, часть которых пересекает всю земную кору. Особенности поля наклонов отражателей рассматриваемого участка профиля 1-СБ во многом соответствуют представлениям о геометрических формах и кинематических проявлениях сдвиговой тектоники, приведенным в обзоре [8], где обобщены результаты работ, выполненных в полевых и лабораторных условиях. В соответствии с этими результатами признаками разломов со смещением по латерали в вертикальном разрезе среды могут быть «пальмовая» либо «цветочная» структуры

расходящихся оперяющих разломов от осевого шва (сместителя) субвертикальной ориентации, наличие оперяющих сегментов, выпуклые формы геометрии изгиба границ с расширением свода к верхней части разреза. Кроме того, субгоризонтальные движения блоков сопровождаются компрессионными поднятиями пород над зоной главного смещения. Со сдвиговой тектоникой, проявляемой в геометрии сейсмических границ, связаны и механизмы формирования сегментов растяжения и сжатия пород, что является одним из определяющих факторов прогнозирования зон, перспективных для поиска полезных ископаемых.

На поле наклонов отражателей профиля 1-СБ выделено шесть разломов (R1–R6) с признаками геометрии сдвиговой кинематики. Прежде всего это признаки конвергентного смещения блоков по латерали с формированием компрессионных поднятий. Основными элементами таких разломов являются субвертикальные линии сместителей, по которым происходят горизонтальные смещения блоков. К ним можно отнести субвертикальные линии примыкания аномалий противоположных знаков, относящиеся к шовным зонам, с которыми связано формирование в одном из блоков компрессионных поднятий. Сам рисунок поля наклонов как бы отражает куполообразные (сводовые) структуры. В направлении к поверхности можно наблюдать расширение сводов этих структур, разветвление линий угловых несогласий и формирование блоков-сегментов «пальмовой» либо «цветочной» структур, характерных для разрывных нарушений сдвиговой природы. Это, в свою очередь, открывает путь для установления сегментов растяжения и сжатия пород, а также для прогнозирования зон повышенной и пониженной проницаемости среды.

Воздымание площадок с формированием приподнятых блоков (зоны сжатия расчлененной породы) сменяется их «проседанием» в смежных блоках-сегментах, что можно объяснить растяжением расчлененной породы, которое стимулирует проседание ее площадок в сторону погружения. В направлении к дневной поверхности структуры каждого из рассмотренных разломов усложняются взбросовыми и сбросовыми составляющими, а с появлением дополнительных боковых сегментов приобретают вид «пальмового дерева» либо «цветочной структуры». Таким образом, геометрия границ поля наклонов на рассмотренном участке профиля отображает кинематику латеральных сдвигов, осложненных взбросовой и сбросовой компонентами разрывных нарушений. В нижней части земной коры линии сместителей шовных зон, как правило, совпадают с окнами энергетического ослабления пояса «рефлексивити» и с разрывами границы Мохо. Они прослеживаются ниже подошвы земной коры и заходят в мантийную часть разреза. Это свидетельствует о том, что выделенные разломы являются структурами литосферного уровня заложения.

Блоки-сегменты могут иметь разные характеристики состояния тектонического напряжения [6] и это состояние может быть диагностировано не только по геометрии границ. Поле видимой частоты отражателей (см. рис. 5, г) представлено крупными аномалиями высоких (до 29 Гц) и низких (до 18 Гц) ее значений. Эти изменения значений видимой частоты по латерали, очевидно, можно использовать как дополнительную оценку тектонических напряжений в среде. Признаком для диагностирования сегментов сжатия являются более высокие, а сегментов растяжения – более низкие значения указанного атрибута.

Каждый из выделенных разломов имеет свои особенности и свои соотношения с ранее закартированными разломами (см. рис. 5, а). Так, в единый разлом сдвиговой кинематики (R1) однозначно вписываются три разлома (Чиндагинский, Аргунский и Кальдерный). При этом Аргунский разлом соответствует положению основного сместителя сдвига R1, на поле отраженной энергии ему соответствуют изменения в энергетических характеристиках пояса «рефлексивности». Чиндагинский и Кальдерный разломы соответствуют положениям боковых ветвей Аргунского разлома. Сегмент между основным сместителем и Кальдерным разломом, в котором наблюдаются выполаживание и погружение отражателей на север, можно отнести к сегменту, где происходит растяжение пород. Подтверждается это низкими значениями видимой частоты отражателей.

Разломы R2 и R3 характеризуются хорошо выраженными компрессионными поднятиями в левых сегментах, четкими субвертикальными линиями сместителей и сбросовыми структурами в правых сегментах. Сместитель разлома R2 отстоит от разлома R1 на 50 км. На поверхности он совпадает с Пограничным, а его левая ветвь – с Северо-Урюлюнгийским разломами. Разлом R3 имеет хорошо выраженную систему оперяющих веток. Выход его линии сместителя на поверхность совпадает с Газимурским разломом. На уровне подошвы земной коры положение сместителей разломов R2 и R3 совпадает с разрывами в прослеживании границы Мохо, наблюдаемое на поле отраженной энергии. Горизонтальный размер блока между этими разломами составляет около 70 км.

По положению границ ЭКО и полю наклонов отражателей между Пограничным и Газимурским разломами видно проявление структуры крупного грабена, южное плечо которого совпадает со сбросом, а подошва доходит до базитового слоя, достигая уровня границы Мохо, которая имеет здесь слегка прогнутую форму. Другая крупная грабенообразная структура, также с южным плечом, соответствующим сбросу, но с подошвой в гранулитовом слое, расположена за правым сегментом Газимурского разлома. Возникновение грабенов связано с растяжением участков земной коры в блоках между

сдвиговыми нарушениями R2 и R4 и последующим оседанием центральных частей этих блоков.

Разломы R4 и R5 имеют хорошо выраженную пальмовую структуру. Первый совпадает с Куренгинским разломом, второй – с Южно-Борщовочным. Положение сместителя разлома R4 вблизи подошвы земной коры соответствует разрыву границы Мохо. Боковая ветвь этого разлома совпадает с Верхнегазимурским разломом. Образование ветви можно связать с локальным надвигом, сформировавшим локальную зону сжатия в левом сегменте разлома. Такую же зону сжатия можно наблюдать в левом сегменте Южно-Борщовочного разлома. Размеры блоков между Газимурским и Куренгинским разломами составляют около 80 км, а между Куренгинским и Южно-Борщовочным – 60 км.

В области Ачинско-Борщовочной надвиго-складчатой системы и Пришилкинской зоны смятия выделен разлом R6. Он совпадает с закартированным Монголо-Охотским разломом (на 360 км). В разломе R6 более слабо выражена «пальмовая» структура в геометрии наклонов отражателей. Наблюдаемое небольшое горизонтальное смещение оси разлома на уровне кровли нижнекорового (базитового) макрослоя можно объяснить изменением проекции разлома на линию профиля в связи поворотом его на 90°.

Одним из требований решения прикладных задач поиска рудных месторождений является разработка критериев обнаружения в земной коре зон повышенной проницаемости пород, которые ассоциируются с зонами их растяжения. В рамках структур сдвиговых разломов такие зоны могут относиться к блокам-сегментам, где наблюдаются наклоны, характеризующие погружение (проседание) площадок. Зоны повышенной проницаемости пород можно выделять вдоль сместителей (см. рис. 5) в опущенных блоках-сегментах. Дополнительным индикатором сегментов растяжения может быть совпадение их с аномалиями низких значений видимой частоты отражателей. В низах земной коры они, как правило, подходят к окнам в поясе «рефлексивности» и к разрывам границы Мохо. Магистральные каналы повышенной проницаемости обеспечивают возможность перемещения магматических расплавов и термальных растворов вверх по разрезу. Все эти признаки стали обоснованием для прогнозирования каналов повышенной проводимости среды в правых сегментах Аргунского, Пограничного, Газимурского и Куренгинского разломов.

Поисковыми объектами при решении вопросов, связанных с полезными ископаемыми, могут быть также локальные зоны аккумуляции магматического вещества на разных уровнях земной коры, в том числе зоны локального корового растяжения расслоенных пород с формированием глубинных аналогов пулл-апартовых структур (магматических камер). Подобными объектами могут быть локализованные замкнутые зоны, где подъемы площадок



при возрастании глубин достаточно резко переходят в погружение. Таким образом, фиксируется локальное проседание групп площадок расслоенных толщ (на макромодели такие структуры обозначены ромбообразными значками). Часть магматических камер – это локальные грабенообразные структуры, примыкающие к линиям осей шовных зон. По последовательности их расположения можно оценить возможные пути прохождения магматических расплавов и гидротермальных растворов в верхние части земной коры.

Механизм присдвигового растяжения реализуется на разных уровнях земной коры, в том числе в ее приповерхностной части. Полученная модель Монголо-Забайкальского участка профиля 1-СБ дает основание предположить, что тектонические впадины Забайкалья также образовались в результате функционирования разрывов сдвиговой кинематики, в которой структуроформирующую роль играли литосферные разломы. В итоге в зонах локального присдвигового растяжения у поверхности могли формироваться присдвиговые пулл-апартовые впадины с проявлением процессов присдвигового магматизма. Это позволяет обосновать связи депрессионных зон в верхней части коры с глубинной тектоникой (системой выделенных глубинных разломов), что в полной мере может быть отнесено и к Стрельцовской впадине, расположенной в зоне Кальдерного разлома.

Распределение зон сжатия пород земной коры, относящихся к левым сегментам разломов R1, R2, R3, R4, и зон растяжения, относящихся к их правым сегментам, позволяет сделать вывод о северо-западном направлении вектора тектонических напряжений, обеспечивших формирование этих разломов, и левостороннем смещении их блоков-сегментов. Что касается Южно-Борщовочного разлома (R5), то в его структуре аномалия пониженных значений видимой частоты, а следовательно, зона погружения площадок совпадает с левым сегментом. Это может свидетельствовать о возможной смене направления тангенциальных напряжений, сформировавших этот разлом. О плановом положении подвижных систем в Монголо-Забайкальской складчатой области можно судить исходя из пространственной ориентации линии профиля 1-СБ и с учетом того, что напряжение, создающее сжатие пород, и его реализация (сдвиг) имеют взаимно ортогональные направления. С учетом этих факторов есть основания предположить, что на Монголо-Забайкальском участке профиля были реализованы движения типа левого сдвига.

Таким образом, глубинные критерии прогноза перспективных зон для поиска полезных ископаемых на территории Забайкалья в значительной степени связаны с концептуальными представле-

ниями о тектоническом строении земной коры. В частности, при доминировании сдвиговой кинематики в перемещении блоков земной коры по латерали существенную роль играли поиски зон присдвигового растяжения, стимулирующим действием синкинематического магматизма. При этом ведущее значение при построении физико-геологических моделей рудных узлов могут иметь пулл-апартовые структуры, дающие представления о размещении магмопроводящих каналов и магматических камер. Результаты интерпретации полей Реапак-атрибутов позволяют установить направления магистральных путей продвижения магматических расплавов, а также областей их аккумуляции, имеющих геометрическую структуру локальных магматических камер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Государственная** геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение), лист М-50 – Борзя. Объяснительная записка / ред. В. В. Старченко. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2010. – 553 с.

2. **Караев Н. А.** Сейсмические модели гетерогенных сред и формируемые ими волновые поля // Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн. Вып. XXII. – Л.: Наука, 1982.

3. **Менакер Г. И.** Строение тектоносферы и закономерности размещения рудных месторождений в Забайкалье: методические рекомендации по исследованию закономерностей размещения рудных месторождений в связи с глубинным строением рудных провинций. – Чита: ПГО «Читагеология», 1989. – 65 с.

4. **Павленко Ю. В.** Объемная геолого-геофизическая модель юго-восточного Забайкалья: закономерности размещения эндогенного оруденения (ч. 1) // Вестн. ЧитГУ. – 2011. – № 39 (76). – С. 102–118.

5. **Рудницкая Д. И., Корнилов М. В., Стражникова И. Н.** Теоретические и алгоритмические основы системы РеапакРК+ // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 2. – С. 76–87.

6. **Тевелев Арк. В.** Трансферы в структурах сжатия и растяжения // Ежегодная научная конференция «Ломоносовские чтения». – М.: МГУ. 1997. – С. 76–77.

7. **Тимурзиев А. И., Гогоненков Г. Н.** Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов: от нефтегазогеологического районирования недр до технологии поисков и разведки глубокозалегающих месторождений углеводородов // Вести газовой науки. – 2012. – № 1 (9). – С. 68–85.

8. **Sylvester A. G.** Strike-slip faults // Geol. Soc. Amer. Bull. – 1988. – Vol. 100. – P. 1666–1703.

© Д. И. Рудницкая, М. В. Корнилов, Е. В. Мосягин, 2017



УДК 553.3/.9.04:(550.8+330.322)(571.13/.55)

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ РЕСУРСНОЙ БАЗЫ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

Р. Т. Мамахатова

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

Представлена методика геолого-экономической оценки перспектив освоения месторождений твердых полезных ископаемых, разработанная в СНИИГГиМС. Определены дальнейшие направления совершенствования методики с целью оценки инвестиционной привлекательности территорий, инвестиционных рисков и эффективности инвестиций, выявления зон с наиболее напряженной экологической, социальной или экономической ситуацией, оценки реальной стоимости геолого-разведочных работ. В качестве примера использования рассматриваемой методики приведена карта инвестиционных проектов СФО. При принятии стратегических решений регионального масштаба эта карта позволяет получить сжатое интегральное представление огромного объема информации в виде, пригодном для принятия решения.

Ключевые слова: освоение месторождений твердых полезных ископаемых, инвестиционные проекты, стоимость геолого-разведочных работ, минерально-сырьевая база твердых полезных ископаемых.

METHODS TO ESTIMATE THE EFFICIENCY OF SURVEY AND DEVELOPMENT OF THE SOLID MINERAL RESOURCE BASE IN THE SIBERIAN FEDERAL DISTRICT

R. T. Mamakhatova

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

The paper describes the methods of feasibility study of the development of solid mineral deposits, developed at SNIIGGiMS. The author determined further directions of the methods improvement, with the aim of estimating the investment attractiveness of the territories of interest, investment risks and return on investment, determining zones with the most stressful ecological, social, or economic situation, and estimating the actual cost of geological exploration. The map of investment projects in the Siberian Federal District is given as an example. The map enables making strategic decisions at a regional scale based on a huge scope of information represented in an integral way suitable for decision-making.

Keywords: development of solid mineral deposits, investment projects, cost of geological exploration, solid mineral resource base.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6c-156-162

В СНИИГГиМС всегда уделялось огромное внимание вопросам научного обеспечения и совершенствования методов геолого-экономической оценки освоения минерально-сырьевой базы (МСБ) страны с учетом современных тенденций развития процессов недропользования.

Официальное начало таких работ в институте было положено еще в 1966 г., когда Министерство геологии СССР включило в план исследований института разработку методических основ составления геолого-экономической карты развития нефтяной и газовой промышленности Сибири и Дальнего Востока и ее построение.

В 1991 г. по заданию Комитета по геологии и использованию недр Российской Федерации СНИИГГиМС начал работы по обоснованию направления развития и освоения ресурсов фосфатного и комплексного органо-минерального сырья сельскохозяйственного назначения юга Сибири. В результате была составлена «Геолого-экономическая карта минерально-сырьевых ре-

сурсов важнейших твердых полезных ископаемых Сибири».

Однако с распадом СССР МСБ в России резко сократилась, что привело к необходимости проведения геолого-экономической переоценки всех известных в стране, в том числе и в Сибири, месторождений и наиболее крупных проявлений с целью выделения объектов, пригодных для рентабельной отработки.

Переход к рыночным отношениям, суверенизация регионов, экономическое обособление субъектов Федерации привели к потребности пересмотра точки зрения на минерально-сырьевые ресурсы. В связи с этим настоятельно необходимы стали инвентаризация выявленных и разведанных месторождений минерального сырья; переоценка их запасов с учетом новых геологических данных. Незначительность запасов месторождений уже не была препятствием для их освоения, особенно если они удовлетворяли местные потребности. Учитывались современные экономические реалии, прежде всего цены.

Именно такая задача была поставлена перед СНИИГГиМС при работах по геолого-экономической переоценке месторождений твердых полезных ископаемых (ТПИ) (кроме топливно-энергетических видов), учитываемых государственным балансом в составе нераспределенного фонда недр по Западной Сибири, Республике Алтай и Кемеровской области.

Для проведения систематизации и анализа месторождений различных ТПИ был использован методический подход, охватывающий конкретные модельно-расчетные процедуры, а именно: различные методы оценки показателей эффективности освоения месторождений (затратный, доходный, сравнительный и т. д.); обширную информационно-аналитическую базу методических принципов; блок прогноза конъюнктуры рынка; повышение качества разработки ТЭО. На данной основе можно осуществлять эффективное управляющее воздействие на процесс освоения месторождений ТПИ.

При создании информационно-аналитической базы был собран, обобщен и проанализирован огромный геологический и технико-экономический материал (запасы, содержание полезных компонентов в запасах и концентрате, способы разработки и т. д.) по месторождениям основных видов полезных ископаемых: барита, бериллия, бокситов, висмута, вольфрама, глины огнеупорных и тугоплавких, железных руд, золота, известняков флюсовых, кадмия, камней природных облицовочных и строительных, каолина, кварца и кварцитов, кобальта, марганцевых руд, меди, мела, минеральных красок, нефелиновых руд, ниобия, ртути, свинца, серебра, серы, стекольного сырья, талька, тантала, титана, формовочных материалов, фосфоритовых руд, цементного сырья, цеолитов, цинка и циркония.

В результате убедительно обоснованы актуальность и необходимость разработки мелких и средних месторождений. Были предложены научно обоснованные рекомендации по оценке показателей эффективности освоения месторождений ТПИ Сибирского федерального округа (СФО), направленные на повышение эффективности разработки малорентабельных месторождений.

Выработанные рекомендации могут быть использованы для обоснования программ лицензирования и геологического доизучения месторождений ТПИ.

Разрабатываемое и постоянно обновляемое в СНИИГГиМС методическое и программно-алгоритмическое обеспечение геолого-экономической оценки освоения месторождений ТПИ и долгосрочного прогноза эффективного недропользования позволяет обеспечить надежность принятия следующих решений:

- о целесообразности постановки разведочных работ, а в случае необходимости и опытно-промышленной разработки *оцененных* месторождений;

- о подготовленности для промышленного освоения *разведанных* месторождений.

Экономическое обоснование и расчеты, используемые при оценке экономической эффективности освоения месторождения, – итог всех проведенных на нем геолого-разведочных работ (ГРР), технологических и экологических исследований.

Расчеты экономического обоснования основываются на принципах, которые изложены в «Методических рекомендациях по оценке эффективности инвестиционных проектов», утвержденных Министерством экономики Российской Федерации, Минфином России, Государственным комитетом Российской Федерации по строительной, архитектурной и жилищной политике.

Основными экономическими показателями, используемыми при оценке месторождения и определении балансовой принадлежности его запасов, являются денежный поток (ДП) и чистый дисконтированный доход (ЧДД).

Модель **денежного потока** строится исходя из следующих допущений:

- время деятельности (t) предприятия равно частному от деления запасов промышленных категорий $A+B+C_1$ на производственную мощность, определенную по формуле Тейлора;

- доходы и расходы равномерны за все время деятельности предприятия;

- начальные капиталовложения (K_t) моментальны, т. е. время инвестиционной фазы принимается равным нулю;

- амортизационные отчисления (A_t) целиком направляются на реновацию основных производственных фондов и не входят в положительную часть ДП.

Таким образом, денежный поток **для инвестора** на единичный период вычисляется так:

выручка от реализации (C_t) за вычетом адвалорных налогов и акцизов (H_f) и *вычетом* транспортных затрат (Z_n) до порта или пограничного пункта (*плюс* средневзвешенный железнодорожный тариф на объемы грузоперевозок *плюс* эксплуатационные затраты) *минус* налог на прибыль 20% (H_n).

Денежный поток **для государства** (бюджетные поступления) вычисляется так:

адвалорные налоги и акцизы в выручке *плюс* налог на имущество (база налогообложения – начальные капиталовложения) *плюс* налоги от ФОТ, принимаемые экспертно. ФОТ с учетом налогов составляет примерно 35% от полных эксплуатационных затрат) *плюс* налог на прибыль (20% от чистого денежного потока для инвестора) (H_f).

Денежные потоки для инвестора и государства дисконтируются по единой ставке (часто нормативно принятые 10% годовых).

Денежный поток – это движение наличных средств, будущих денежных поступлений (приток) и расходов (отток) при строительстве и эксплуатации месторождения, иллюстрирующее фи-

нансовые результаты от возможной реализации проекта.

Денежный поток горного предприятия определяется на период (горизонт расчета) отработки запасов (но не более 20 лет) или на срок выдачи лицензии. Обычно он состоит из двух частных денежных потоков: 1) от *инвестиционной* деятельности и 2) от *операционной* деятельности. Накопленное сальдо ДП за весь расчетный период от начала строительства горного предприятия и до его ликвидации определяет его чистый ДП.

Расчет денежного потока в общем случае осуществляется исходя из следующих основных условий:

1. Стоимость товарной продукции определяется без учета НДС, исходя из среднего значения цены внутреннего или мирового рынка на конечную продукцию за год или несколько ближайших лет, предшествующих дате составления ТЭО кондиций. Продолжительность учитываемого при расчетах периода (год или несколько ближайших лет) зависит от устойчивости мировых цен. При учете цен мирового рынка вычитаются таможенные пошлины, транспортные расходы и страховка. Перевод выручки в рубли осуществляется по действующему курсу ЦБ РФ.

2. Размер капиталовложений в максимальной степени вычисляется прямым расчетом без учета НДС; эксплуатационные затраты определяются с использованием нормативов на базе решений технологических частей ТЭО или постатейно по элементам затрат без учета НДС.

3. Размер оборотных средств принимается равным сумме двух-трех месячных эксплуатационных затрат, учитывается в расходной части первых лет эксплуатации и в доходной части последнего года.

4. Амортизация рассчитывается по соответствующим нормам.

5. Налогооблагаемая прибыль P_n определяется как разность между стоимостью товарной продукции и эксплуатационными затратами с учетом всех налогов и платежей, погашаемых из валовой прибыли, по следующей формуле:

$$P_n = C_t - Z_t - N_f - P_o,$$

где C_t – стоимость реализованной товарной продукции, руб.; Z_t – годовые эксплуатационные затраты, руб.; N_f – налоги, погашаемые из валовой прибыли (налог на имущество); P_o – освобождаемая от налогообложения часть прибыли (в соответствии с условиями лицензионного соглашения).

При расчете денежного потока приведение разновременных затрат и доходов к начальному периоду оценки осуществляется с использованием процедуры дисконтирования. Ставки дисконтирования обычно принимаются равными 10 и 15 %, а при обосновании эксплуатационных кондиций расчеты выполняются, как правило, без дисконтирования или в соответствии с условиями кредитования.

Чистый дисконтированный доход (ЧДД) для постоянной нормы дисконтирования (E_{const}) вычисляется как сумма приведенных к начальному этапу оценки всех доходов от эксплуатации месторождения за весь расчетный период по формуле

$$\text{ЧДД(NPV)} = \sum_{t=0}^T (C_t - Z_n + A_t) \frac{1}{(1+E)^t} - \sum_{t=0}^T \left(K_t \frac{1}{(1+E)^t} \right),$$

где C_t – стоимость реализованной продукции (выручка предприятия) в t -м году; $Z_n = Z_t + N_f + N_n$ – полные затраты за t -й год; A_t – амортизационные отчисления за t -й год; T – расчетный период (в общем случае от начала строительства до ликвидации предприятия); K_t – капитальные вложения в t -м году; N_n – налог на прибыль.

Если значение ЧДД положительное, освоение месторождения экономически эффективно. В указанной формуле в конце последнего (T -го) шага учитывается реализация активов при ликвидации производства (завершении отработки месторождения).

Индекс доходности (ИД) представляет собой отношение суммы приведенных доходов ($C_t - Z_n + A_t$) к приведенным капиталовложениям:

$$\text{ИДД} = \frac{\sum_{t=0}^T (C_t - Z_n + A_t) \frac{1}{(1+E)^t}}{\sum_{t=0}^T K_t \frac{1}{(1+E)^t}}.$$

Очевидно, что в экономически эффективных проектах $\text{ИД} > 1$.

Для геолого-экономической оценки месторождения важна обоснованность размеров инвестиционных затрат на его освоение, основными из которых являются:

1) первоначальные капитальные вложения (горно-капитальные работы, затраты на приобретение, транспортировку и монтаж горного оборудования, объекты поверхностного комплекса (основного и вспомогательного назначения), природоохранные объекты, объекты внешней инфраструктуры);

2) капитальные вложения на строительство обогатительной фабрики;

3) капитальные вложения в период эксплуатации, в том числе на поддержание мощности предприятия и на реновацию;

4) оборотный капитал.

На действующих предприятиях в состав инвестиционных затрат включается остаточная стоимость основных фондов.

Стоимостные показатели, учитываемые на основе данных по предприятиям-аналогам, используются с соответствующей корректировкой на мест-



ные условия, изменение цен на материалы, товарную продукцию и т. п.

Влияние всех компонентов на экономику проекта исследуется с помощью специальных расчетов, иллюстрирующих зависимость значений ВНД (внутренней нормы доходности) и ЧДД от изменения этих факторов. Оцениваются варианты, при которых проект не теряет инвестиционной привлекательности. На основе этих оценок может быть определена и степень риска проекта.

При повариантной геолого-экономической оценке в качестве оптимального принимается вариант, наиболее полно учитывающий интересы государства (полнота использования недр, бюджетная эффективность проекта, или ЧДД государства) и недропользователя (ВНД, ЧДД, чистая прибыль).

Традиционная геолого-экономическая оценка минерального сырья проводится, как правило, с чисто отраслевых позиций (в соответствии с методическими рекомендациями по геофизическому опробованию при подсчете запасов месторождений металлов и нерудного сырья и по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений ТПИ). Каждый тип месторождений оценивается отдельно: считаются вся инфраструктура и затраты на освоение без учета того, что рядом находятся месторождения других полезных ископаемых, которые сами по себе на данное время нерентабельны или малорентабельны для эксплуатации.

В то же время в мировой практике для эффективного освоения месторождений полезных ископаемых рекомендуется внедрять технологию комплексной групповой геолого-экономической оценки ТПИ. При этом значительно снижаются производственные денежные расходы, особенно при создании единой инфраструктуры за счет комплексной разработки месторождений различных видов полезных ископаемых единым горно-рудным предприятием. В таких комплексах обычно осуществляется полный производственный цикл от добычи сырья до получения металлургической продукции, тем самым резко сокращаются транспортные перевозки, и в конечном счете дисконтированная прибыль более весома. Такой подход к комплексному освоению рудных узлов реализован и в методике, разработанной в СНИИГГиМС.

Применение методики заключается в последовательном проведении следующих операций:

1) составление прогнозно-минерагенической карты рудного района и базы данных по твердым полезным ископаемым;

2) выделение рудных узлов компактно расположенных месторождений и рудопроявлений.

3) проведение геолого-экономической характеристики рудных узлов с выбором наиболее перспективных для последующей (более подробной) групповой комплексной геолого-экономической оценки; оцениваются каждое месторождение, перспективное рудопроявление и узел в целом.

Выделение рудных узлов имеет, таким образом, глубокий смысл, определяющий дальнейшую комплексную геолого-экономическую оценку не только конкретного вида полезных ископаемых, но и их группы в целом с вероятностью одновременной добычи.

В результате выполнения предлагаемых рекомендаций решаются следующие задачи:

- дается наиболее полная геолого-экономическая оценка ресурсного потенциала рудных узлов и района в целом;

- в результате группировки и переоценки многие объекты из нерентабельных переходят в рентабельные и высокорентабельные, обосновывается возможность и целесообразность их освоения;

- исключается занижение стоимости участка недр и суммы налогообложения;

- максимально соблюдаются интересы государства, региона и предпринимателя;

- создается современная максимально полная геолого-экономическая основа для лицензирования;

- исключается возможность порчи одного месторождения за счет эксплуатации другого путем складирования на его площади отвалов, хвостов обогащения, застройки территории и т. д.;

- улучшается контроль в области охраны недр и экологии за счет максимально полного безотходного производства;

- осуществляется рациональное и комплексное использование минерального сырья;

- резко возрастает привлекательность участка для лицензирования, инвестирования, поисковых и других видов ГРП;

- оценивается стоимость рудного узла и рудного района, а также соответствующих им участков недр;

- обосновывается очередность освоения объектов, план ГРП, прирост ресурсов и запасов.

Разработанная методика комплексной геолого-экономической оценки МСБ рудных районов Российской Федерации опробована в различных регионах Западной и Восточной Сибири.

Так, в рамках государственного контракта разработаны рекомендации по геологическому изучению недр районов нового освоения и вовлечению в эксплуатацию их МСБ; осуществлена геолого-экономическая оценка МСБ ТПИ в коридоре трубопровода «Восточная Сибирь – Тихий океан».

Оценка экономической эффективности отработки группы сближенных месторождений осуществлялась как прямым расчетом, так и методом аналогии показателей по схожим месторождениям, для которых уже составлены ТЭО.

Анализ полученных результатов показывает, что совместная отработка группы сближенных месторождений, небольших по запасам полезного ископаемого и нерентабельных для индивидуаль-

Карта первоочередных инвестиционных проектов Сибирского федерального округа: I – комплексное развитие Нижнего Приангарья; II – строительство железнодорожной линии Кызыл – Курагино в увязке с освоением минерально-сырьевой базы Республики Тыва; III – создание транспортной инфраструктуры для освоения минерально-сырьевых ресурсов юго-востока Забайкальского края; IV – комплексное развитие Забайкалья

ного освоения, может давать значительный экономический эффект при использовании единого ГОКа и централизации управления. Эффект достигается за счет уменьшения амортизационных отчислений и капиталовложений, связанных с обогащением руды. В этом случае рассчитывались коэффициенты, отражающие снижение эксплуатационных затрат и капвложений при групповой отработке месторождений, а также коэффициенты, характеризующие удельный вес капвложений в ГОК в общих капвложениях.

На протяжении последних лет в СНИИГГиМС актуализируется разработанная в институте геологическая информационная система (ГИС) применительно к месторождениям ТПИ. ГИС позволяет систематизировать и корректировать графические и информационные геологические материалы по месторождениям ТПИ, подготавливать и создавать графические базы данных (БД), структурированные в единую ГИС с информационной БД по месторождениям ТПИ.

На основе этой БД осуществляется прогноз технико-экономических показателей прироста запасов и выделения объектов, имеющих наибольшую инвестиционную привлекательность. Технологические возможности ГИС-проекта предполагают быстрый анализ различных выборок объектов по ряду геолого-экономических показателей.

С момента создания ГИС ведется постоянная работа по наполнению БД актуализированной информацией о балансовых запасах по основным видам ТПИ; о проведении разработок, осуществляющих прогноз технико-экономических показателей прироста запасов и выделения объектов с наибольшей инвестиционной привлекательностью. На основе БД возможны оперативная систематизация и анализ большого массива материала по ТПИ в СФО.

Так, для администрации Новосибирской области разработана электронная геолого-экономическая карта Новосибирской области и реализована методика автоматизированной стоимостной оценки месторождений ТПИ на основе существующей базы производственно-экономических показателей.

Примером такого использования служит «Карта первоочередных инвестиционных проектов Сибирского федерального округа» (см. рисунок), построенная в СНИИГГиМС по заданию аппарата полномочного представителя Президента РФ в СФО для оперативного анализа МСБ региона.

В настоящее время разрабатывается методика оценки освоения месторождений на разных стадиях ГРР для изучения участков недр высоколиквидных и дефицитных видов полезных ископаемых. В методике предложена многоэтапная система анализа

экономической эффективности ГРР по геологическому изучению недр и воспроизводству МСБ. Она основана на оценке экономической эффективности ГРР работ по изучению недр и воспроизводству минерально-сырьевой базы в предлагаемой последовательности. Это позволяет решать комплекс взаимосвязанных задач: целенаправленный выбор объектов для проведения ГРР; экономическая оценка результатов ГРР; оценка экономической эффективности проведенных ГРР; оценка обоснованности и достоверности выделения перспективных участков и прогнозных ресурсов; корректировка и/или совершенствование методов проведения ГРР и оценки прогнозных ресурсов.

Предлагается экономическая оценка прогнозных ресурсов категорий P_1 и P_2 , перспективных для постановки ГРР, которая основывается на величине ресурсов, их качестве, промышленном типе предполагаемого месторождения, условиях его залегания и подтвержденности этих ресурсов (на основании принципов, методов и порядка оценки прогнозных ресурсов ТПИ, разработанных в ВИМС). Наряду с экономической оценкой ресурсов осуществляется оценка района их локализации по степени его экономической освоенности и состоянию инфраструктуры как необходимых элементов для принятия решения.

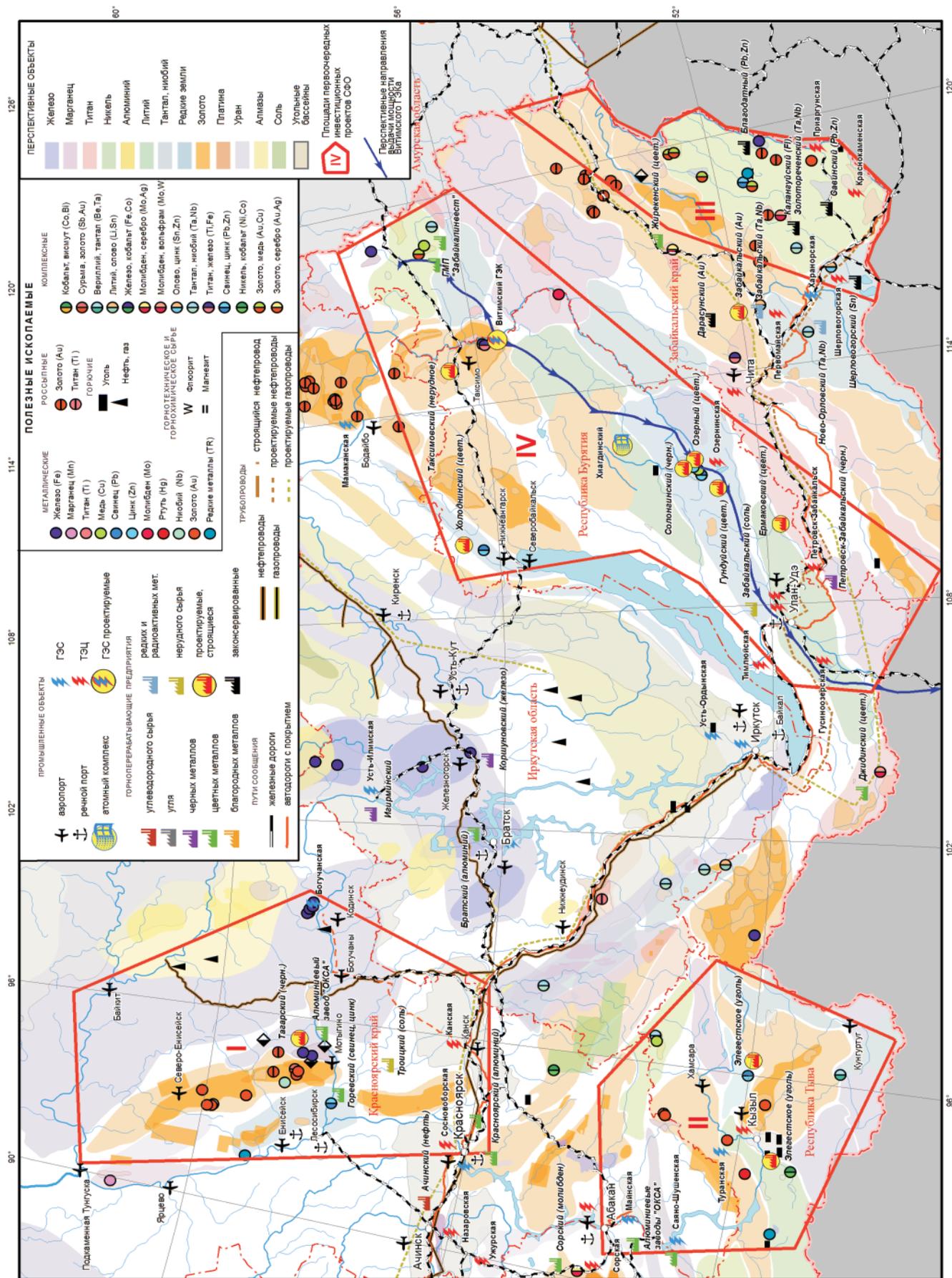
Новизна применяемого подхода к геолого-экономической и стоимостной оценке (ГЭСО) месторождений ТПИ заключается в том, что она осуществляется на ранних стадиях ГРР. Поскольку при утверждении прогнозных ресурсов важна не только оценка их качества и количества, но и определение потенциальной ценности и ожидаемого экономического эффекта от предстоящих объемов и затрат на ГРР как первого этапа оценки промышленной значимости прогнозируемых месторождений.

При этом методика экономической оценки определяет эффективность освоения в форме ЧДД инвестора и бюджетной системы, получаемого при эксплуатации объекта недропользования в динамике с учетом затрат на ГРР.

По полученным результатам также можно решить проблему очередности ввода объектов в освоение, рационального и объективного соотношения затрат на геолого-разведочные работы за счет бюджетных средств и средств недропользователей.

Как известно, ГЭСО – это комплексная оценка геологических и горно-технологических особенностей месторождений, промышленной ценности полезных ископаемых и вероятного экономического эффекта от использования добытого минерального сырья.

Экономическая составляющая оценки базируется на результатах подсчета запасов и включает



анализ показателей, определяющих эффективность эксплуатации месторождения: прибыль, себестоимость, рентабельность, производительность и т. п.

Конечный результат такого исследования – ответы на вопросы, целесообразна ли отработка месторождения и как скоро окупятся вложенные средства.



Экономическое обоснование и расчеты, используемые при оценке экономической эффективности от реализации проекта, являются итогом всех проведенных на месторождении ГРР, технологических и экологических исследований.

Разрабатываемая методика может быть рекомендована для использования всеми профильными организациями России: агентствами и службами при разработке программ ГРР, лицензирования и пользования недрами в целях создания необходимых условий для социально-экономического развития федеральных округов, а также при выявлении и распределении стратегических, остродефицитных и высоколиквидных источников ТПИ. Основой планирования и проведения ГРР должны стать зоны и территории, где сочетаются благоприятные геологические предпосылки и экономические интересы регионов. Государство должно стимулировать

инвестиции в геологоразведку, но эти программы должны быть комплексными, нацеленными на реализацию всех стадий ГРР и заканчиваться лицензированием месторождений.

В заключение можно с уверенностью сказать, что предлагаемый СНИИГГиМС методический подход, учитывающий геолого-экономические параметры месторождений и прогнозных площадей, отображаемых на прогнозных и инфраструктурных картах и описываемых интегральными параметрами инвестиционной привлекательности, может способствовать принятию более взвешенных и обоснованных решений при выработке стратегии формирования адресной инвестиционной политики, а также при определении концептуальных подходов к инвестированию в МСБ ТПИ для наиболее полной и быстрой ее адаптации к потребностям реального сектора региональной и национальной экономики.

© П. Т. Мамахатова, 2017

ПАЛЕОЭКОСИСТЕМНАЯ КОНЦЕПЦИЯ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЯХ

В. В. Сапьяник

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

На конкретных примерах рассмотрены понятия, которые подразумевают последовательность применения палеоэкологического подхода к изучению геологических событий в истории эволюции палеоэкосистем внутриконтинентальных и окраинных бассейнов Сибири, сформировавшихся в юрское время. Глобальные аспекты эволюции древних палеоэкосистем приводят к перераспределению экологических ниш и вымиранию специализированных таксонов либо к их миграции, а также вызывают форсирование эволюционных процессов сохранившихся групп организмов (сукцессионные процессы биоценозов). Тренды экологической эволюции последовательных рядов микробентоса в результате адаптационного потенциала таксона к экогенезу и освоению биотопов (палеоаутэкология) приводят к образованию нового вида, т. е. возникновению новой экосистемы. Палеоэкологические особенности совокупностей экологически толерантных организмов в ландшафтной системе палеобассейна (биофациальный анализ) определяют становление и изменение палеоэкосистем в геологической истории бассейна.

Ключевые слова: Сибирь, палеоэкосистемы, мезозой, фораминиферы, эволюция, экологическая классификация, биофации.

PALEOECOSYSTEM CONCEPT IN GEOLOGICAL RECONSTRUCTIONS

V. V. Sapyanik

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

By specific examples, the author considers concepts implying the sequence of applying the paleoecological approach to the study of geological events during the evolution of paleoecosystems of intracontinental and marginal basins of Siberia that had formed in the Jurassic time. Global aspects of evolution of ancient paleoecosystems result in redistribution of ecological niches and extinction of specialised taxons or their migration, and boost evolution of the remained groups of organisms (succession biocoenosis). The trends of ecological evolution of subsequent rows of microbenthos due to the adaptational potential of a taxon to ecogenesis and acquisition of biotops (paleoautecology) lead to the development of a new species, thus forming a new ecosystem. The paleoecological features of the assemblages of ecologically tolerant organisms in the relief system of the paleobasin (biofacies analysis) indicate the development and alteration of paleoecosystems in the geological history of the basin.

Keywords: Siberia, paleoecosystems, Mesozoic, foraminifers, evolution, ecological classification, biofacies.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6c-163-179

Научное обоснование значимости палеоэкологического подхода в геологических реконструкциях по праву принадлежит В. И. Вернадскому. Согласно его доктрине, современная биосфера – это итог развития биосфер геологического прошлого [5]. Одним из фундаментальных понятий в исследовании современной биосферы является система взаимосвязи биотической и абиотической среды (экосистема) [60], а для реконструкции древних биосфер – палеоэкосистема [17].

Палеоэкологическая концепция опирается на прочный фундамент научных исследований современной биосферы – **биогеоценологию**. Основоположник этого научного направления В. Н. Сукачев [47] ввел понятие **биогеоценоз** как объект изучения этой науки. Этот термин некоторые авторы используют при описании структуры древних биосфер. Однако по праву приоритета он является объектом **биогеоценологии**. По мнению автора статьи, объектом исследования **палеоэкологии**, с учетом того что она изучает лишь «следы» былого взаимодействия био- и абиотических компонент древней биосферы, является более общий термин – **палеоэкосистема**.

Современное понятие наиболее полно сформулировано В. А. Красиловым: «**Палеоэкосистема** – хроностратиграфические, фациальные и регионально-стратиграфические единицы, образованные перешедшими в ископаемое состояние остатками живого и косного компонентов экосистемы» [17, с. 144]. Уместно подчеркнуть, что основы методики палеоэкологии были разработаны в 1935 г. российским ученым Р. Ф. Геккером. Палеоэкологическому (экостратиграфическому) направлению посвящались заседания Всесоюзного палеонтологического общества (ВПО), серии сборников («Среда и жизнь в геологическом прошлом» и др.), ряд статей и более двух десятков монографий, в которых рассмотрены лексические нюансы терминологии и общая концепция экосистемной теории эволюции, описаны многочисленные разрезы, даны количественные характеристики биоты с описанием отдельных таксонов, составлены палеогеографические карты на основе палеоэкологии биоты [10, 12, 15, 16, 18, 25, 29, 30, 31, 50, 51 и ряд других].



В этих работах палеоэкологические исследования проводятся на основе фактора устойчивости таксономического разнообразия отдельных групп фауны и флоры к внешним показателям окружающей среды. Данные исследования обосновываются анализом количественных характеристик (статистический подход) биотических сообществ: изменения пространственно-временного соотношения количества таксонов [3, 18, 24, 25, 51 и др.]. Иными словами, статистический подход определяет этапность перестроек отдельных групп организмов с неоднородными адаптивными способностями и описывается рядами сукцессий. В то же время без внимания остаются тренды эволюционных преобразований отдельных таксонов: каким образом соотносится направленность эволюции внешней среды с морфолого-конструктивными особенностями видообразования и с эволюцией палеоэкосистем в целом. Основы данных вопросов рассмотрены С. С. Шварцем [50].

В данной ситуации следует согласиться с мнением В. Ф. Левченко, который раздельно рассматривает сукцессионные и эволюционные процессы: «...**сукцессионные процессы не создают ничего нового**, а лишь строят то, что уже было ранее (на том же месте или на другом), в зависимости от условий и набора видовых популяций... Именно поэтому **образование нового вида**, т. е. возникновение новой ниши (сначала реализованной, а потом и фундаментальной), **должно считаться элементарным актом эволюции экосистем**» (выделение наше. – Авт.) [21].

По сути, исследования сукцессионных процессов развивают концепцию **экостратиграфии**. При этом используется утилитарный подход: при корреляции геологических разрезов устанавливается последовательность отдельных таксонов какой-либо группы организмов и их ассоциаций (ориктоценозов) и слои с наиболее близкими ориктоценозами синхронизируются по степени сходства. Используемый при этом филогенетический метод апеллирует к тейльсонам, акмезонам и т. д.

Вместе с тем аналитический подход к **экостратиграфическим** построениям более сложен, он подразумевает исследование истории развития палеобассейнов по биономическим реконструкциям и «осуществляется двумя способами: изучением следов сукцессий сообществ по ориктоценозам в трансгрессивно-регрессивных циклитах конкретных разрезов; изучением разновозрастных территориально разобобщенных ориктоценозов на геологическом профиле – от палеоберега к средним частям седиментационных бассейнов». Данная формулировка Б. Н. Шурыгина [51] наиболее четко отображает двойственную вертикальную и латеральную последовательность изучения следов древних палеоэкосистем. Этот постулат включает в себя понятие устойчивости палеоэкосистем к эндогенным факторам, и отображается в эволюционных преобразованиях таксономического раз-

нообразия биоты (от глобальных и субглобальных перестроек биоты до особенностей эволюции отдельных таксонов) в вертикальном плане, а в латеральном плане он содержит такое понятие, как экологическая толерантность отдельных организмов трофической структуры биоты в ландшафтной системе палеобассейна, отображаемой последовательными рядами ориктоценозов отдельных групп организмов [25, 27, 51]. В свете данного постулата понятие **сукцессия** может рассматриваться как процесс усложнения структуры сообщества, приводящий к «равновесию» с абиотическими факторами среды.

Следует отметить, что совокупность ориктоценозов биоты, объединенная относительно однородными экологическими условиями, соотносится с понятием **биофация** – термином, наиболее корректно отображающим элементарную ячейку ландшафтной палеоэкосистемы [28].

Автор не ставил своей целью детальное рассмотрение проблем сукцессионных рядов и глубокого анализа таксономического разнообразия биоты. Об этом достаточно подробно написано в трудах выдающихся ученых: А. С. Алексеева, В. А. Басова, В. В. Жерихина, В. А. Красиловой, К. И. Кузнецовой, В. Ф. Левченко, Л. А. Невесской, Б. Л. Никитенко, А. С. Раутиана, Я. И. Старобогатова, С. С. Шварца, Б. Н. Шурыгина и мн. др. [1, 2, 3, 11, 18, 22, 24, 25, 50, 51].

Совершенно иной путь исследований обусловлен познанием процессов, влияющих на экологическую эволюцию биоты, выраженную в трендах изменчивости морфологии как отдельных таксонов, так и совокупностей экологических морфотипов биоты, а также их адаптивный потенциал к заселению новых экологических ниш в историческом развитии бассейна седиментации [8, 13, 14, 38, 39, 40, 42, 44, 46, 58, 59]. Это направление исследований развивает основную концепцию экологической эволюции С. С. Шварца [50] и подразумевает изучение исторических объектов биосферы в качестве «живой» динамической системы с реконструкцией ее функциональных свойств, которые были сбалансированы направленностью внешнего и внутреннего обмена веществ и энергии, позволяющей сохранять конкретные параметры (стабильность) палеоэкосистемы.

По В. А. Красилову стабильность палеоэкосистемы дискретна во времени. «**Дискретность** палеоэкосистемы во времени может быть первичной, связанной с неравномерным развитием, или же вторичной, обусловленной перерывами, причем оба эти фактора нередко действуют совместно, так как изменение условий, ответственное за перерыв, может вызвать и перестройку экосистемы... Постоянные изменения, флюктуации – необходимое условие существования экосистемы» [17, с. 12]. При этом контролирующим фактором дискретности палеоэкосистем являются глобальные и субглобальные **экостратиграфические** построения.

Рассмотренные понятия подразумевают основные аспекты применения палеоэкологического подхода к изучению геологических событий в юрской истории внутриконтинентальных и окраинных полифациальных бассейнов Сибири, экологические ниши которых заселялись плотными популяциями микробентоса как составной части древней биоты, жившей на границе вода – осадок и, соответственно, имевшей наибольший потенциал автохтонного захоронения [38, 42]. При этом актуальной проблемой современных палеоэкологических исследований становится разработка теоретической и методологической основы глобального, регионального и локального моделирования палеоэкосистем геологического прошлого.

Глобальные, региональные и локальные модели палеоэкосистем

1. *Глобальные и субглобальные* перестройки древних палеоэкосистем связаны с качественной перестройкой всего состава атмосферы Земли, что приводило к кардинальному перераспределению экологических ниш и вызывало «взрыв» эволюционных процессов органического мира. Такие глобальные кризисы планетарного масштаба контролируют региональные перестройки и лежат в основе общей планетарной стратиграфической шкалы.

2. *Региональные* перестройки древних палеоэкосистем приводят к перераспределению экологических ниш и, соответственно, к вымиранию специализированных таксонов либо их миграции, а также активизируют эволюционные процессы и расселение эврибионтных организмов (экостратиграфия). Такие уровни отражают последовательность седиментационных трендов и, выступая в ранге региональных стратиграфических подразделений (реперные горизонты), определяют каркас стратиграфических построений осадочного бассейна [9].

При этом дискретность древних палеоэкосистем наблюдается в трендах экологической эволюции последовательных рядов микробентоса, которые в результате адаптационного потенциала таксона к экогенезу и освоению биотопов (палеоаутэкология) приводят к образованию нового вида, т. е. возникновению новой экосистемы (экологическая эволюция). Отражение трендов экологической эволюции древних таксонов и их совокупностей в современных разрезах играет роль временной шкалы, представленной биостратиграфическими подразделениями как комплексного, так и филогенетического обоснования и является основой временной шкалы стратиграфических схем [42].

3. *Локальные* перестройки выражаются в палеоэкологических особенностях совокупностей экологически толерантных организмов, в ландшафтной системе палеобассейна (биофациальный анализ), которые отображают становление и изменение палеоэкосистем в геологической истории бассейна (палеогеография). Данный постулат играет двоякую

роль: а) исследование палеоэкологии организмов в бассейне седиментации позволяет обосновать фациальные реконструкции; б) установленная совокупность таксонов одной палеоэкосистемы формирует представление о временном комплексе организмов, выступающем в ранге характерного комплекса определенной биостратиграфической зоны либо ее части.

Глобальные аспекты эволюции древних палеоэкосистем

Глобальным и региональным перестройкам биосферы в истории Земли посвящены многочисленные публикации, в которых большей частью рассматриваются взаимосвязи абиотических факторов с кризисным состоянием (массовые вымирания) биоты. В то же время кризисная ситуация обуславливает обширное развитие свободных экологических ниш, впоследствии занимаемых массовыми поселениями экологически толерантных групп фауны и флоры, которые создают хорошо узнаваемые в геологическом разрезе уровни с многочисленными находками палеонтологических окаменелостей [4, 46]. Такие уровни, выступая в ранге региональных стратиграфических подразделений (реперные горизонты), определяют каркас стратиграфических построений [9]. Кризисы планетарного масштаба контролируют региональные перестройки и лежат в основе общей планетарной стратиграфической шкалы.

В определении масштабности биосферных событий принципиальным является вопрос о том, насколько внешние причины (космическая периодичность, тектонические процессы, климатические флуктуации и т. д.) соотносились с основными этапами развития биоты в геологическом прошлом. В настоящее время по этому вопросу сложились по крайней мере три разные позиции:

1. События космического характера оказывают воздействие на периодичность тектонических движений, изменения уровня океана, климатические флуктуации и, соответственно, вызывают периодические изменения в биоте и в целом в биосфере.

2. Биота как саморазвивающаяся и саморегулирующаяся система лишь отвечает защитными реакциями на все внешние воздействия.

3. Промежуточный вариант, наиболее адекватный в понимании автора: мы не можем не признавать зависимость периодичности геологических процессов Земли от космических явлений и не можем отрицать наличия внутренних процессов саморазвития и саморегулирования биоты и в целом биосферы [7, 54, 57, 58]. От этого напрямую зависели климатические флуктуации, тектогенез, трансгрессии, регрессии, эвстатика и другие явления, которые определяли направленность эволюции органического мира и оказывали определенное воздействие на основные параметры экосистем: биологическое разнообразие, ареал распространения,



продуктивность и накопление первичного органического вещества, либо охватывавшие всю биосферу Земли, либо затрагивавшие отдельные участки геодинамических систем, определяя тем самым ранг события.

В истории Земли насчитывается несколько десятков глобальных перестроек [49]. Самые существенные из них – это дофанерозойские события, охватывающие 7/8 истории нашей планеты. В архее и протерозое установлено 10 важнейших биотических событий:

I) 3100 млн лет – возникновение жизни на Земле, появление прокариот;

II) 2600 млн лет – зарождение мелких сфероморфных акритарх;

III) 2200 млн лет – резкое увеличение количества простейших микрофоссилий и образование строматолитовых биогермов;

IV) 2000 млн лет – появление первых эвкариот и низших грибов;

V) 1600 млн лет – зарождение и развитие бентосных колониальных форм микрофоссилий, сопоставимых с цианофитами;

VI) 1400–1350 млн лет – развитие синезеленых водорослей;

VII) 1150–1000 млн лет – появление бурых водорослей;

VIII) 850 млн лет – бурный расцвет водорослей;

IX) 650 млн лет – обеднение комплекса органостенных микрофоссилий;

X) 590 млн лет – послевендское вымирание – одно из самых ярких эпох в истории биосферы Земли.

Во время последнего события произошла качественная перестройка всего состава атмосферы: появление фотосинтезирующих организмов обусловило смену углеродной атмосферы Земли на кислородную и в конечном итоге – к образованию озонового слоя, защитившего живые существа от ультрафиолетового излучения Солнца. Данное обстоятельство привело к экспансии биоты на территории морского мелководья, а впоследствии – к обширному ее распространению на континентах. Освоение новых экологических ниш вызвало «взрыв» эволюционных процессов органического мира, до конца палеозойской эры возникли почти все основные ветви растений и животных. Высокие темпы эволюции растений содействовали прогрессивному нарастанию концентрации кислорода в атмосфере и образованию почвенной оболочки планеты (конец карбона), что привело к сложному биологическому обмену веществ вне гидросферы, ставшему одним из важных факторов разрушения и седиментации горных пород: окислительный седиментогенез континентальных ландшафтов (рифей – силур) сменился окислительно-восстановительным. Последующие фанерозойские рубежи перестроек биоты отмечены в атмосфере Земли, близкой к современной, и насчитывают пять глобальных событий [7, 19, 57, 58] (табл. 1).

Указанные перестройки биоты фиксируются по массовым вымираниям, которые не были внезапными. Даже самые крупные вымирания в фанерозое (позднепермское и позднемеловое) не были катастрофическими, а происходили постепенно, неравномерно и выборочно [19 и др.]. В морях прошлого первыми из биоты вымирали теплолюбивые организмы. На восстановление биоразнообразия палеоценозов требовалось длительное время, иногда до 1–2 эпох (см. табл. 1).

В целом планетарная эволюция органического мира и все преобразования неорганической материи нашей планеты происходили и происходят под влиянием космических причин и связанных с ними эндогенных процессов внутри Земли. От этого напрямую зависят климат, тектогенез, эвстатика и другие абиотические факторы, которые определяют ход биособытий и в целом эволюцию органического мира. Отдавать предпочтение одному или двум абиотическим признакам при реконструкции погребенных фаций не совсем правомерно, так как на формирование обстановки и в целом экосистемы влияло суммарное действие факторов [7, 58].

Следовательно, независимо от ранга события, любое внешнее **катастрофическое** воздействие на биоту (изменения климата, тектоническая активность, импактные процессы) выступало в качестве **разрушительного фактора** и приводило к прерыванию биотической сукцессии. Катастрофа лишь разрушала, ничего не создавая. **Новообразование** главным образом обязано чувствительности биоты к внешним факторам и в полной мере зависит от **устойчивости биосистем и их природных эволюционных качеств**, которые определяют либо полное разрушение биотического сообщества (ортогенез), либо его перерождение в новое качество (филогенез), либо возврат к сбалансированному состоянию, сохранившемуся в природной памяти биотической системы (рекапитуляция).

Региональные этапы эволюции мезозойских палеоэкосистем Сибири

Сибирский регион является наиболее благоприятным объектом в Северном полушарии, а точнее в Бореальной области, для изучения следов биотических и абиотических событий – дискретности палеоэкосистем. В мезозойских депрессиях Сибирской платформы установлены все ярусы и почти все зоны, известные в бореальном мезозое, а также все известные на шельфах биономические зоны. При этом основой синхронизации биотических и абиотических событий являются зональная стратиграфия и корреляция, разработанная на изменчивости сообществ морской биоты [25, 27, 32, 44, 51, 54].

Анализируя такие биотические показатели, как динамика таксономического разнообразия различных экологических групп, этолого-трофическая структура сообществ, нивелировка, дифференциация

Таблица 1

Глобальные перестройки биоты Земли в фанерозое

Время	Биотическое событие	Причина
Конец венда (590 млн лет)	Смена бесскелетных беспозвоночных на скелетные. Водоросли со стелющимся стеблем вытесняются водорослями с прямым стеблем, синезеленые водоросли – красными	Резонанс Луна – Земля – Солнце вслед за крупнейшим <i>оледенением</i> примерно 640 млн лет назад. На поздний венд приходится окончание <i>позднебайкальского галактического года</i> <i>Оледенение</i> , по масштабам сравнимое с четвертичным. Импактная гипотеза: в Китае на границе ордовика и силура отмечено наличие аномалии иридия
Граница ордовика и силура (438 млн лет)	Темпы вымирания достигали 19,3 семейства за 1 млн лет, в основном среди граптолитов, конодонтов, брахиопод и трилобитов	Резкое <i>похолодание</i> , которое сопровождалось покровным оледенением, гляциоэвстатикой и наличием аноксидных обстановок. Импактная гипотеза: падение болида в южном полушарии
Конец девона (367 млн лет)	Число семейств уменьшилось на 11–14%. Вымирали фораминиферы, кораллы, стромапораты, трилобиты, тентакулиты. Исчезли древнейшие рыбо-стракодермы	Окончание герцинского – начало <i>киммерийского галактического года</i> . В начале триаса начинается раскол Пангеи и раскрытие Северной Атлантики с образованием рифтов. В конце перми – начале триаса значительные изменения геомагнитного поля, вспышка инверсий
Граница перми и триаса (250 млн лет)	Самое яркое в фанерозойской истории. Вымерло 96% видов, около 70% родов и 55% семейств. Окончательно исчезли трилобиты, вымерли многие рептилии. Существенно обновилась флора	Чаще объясняется <i>климатическими</i> причинами, в региональном масштабе – обширной регрессией в конце триаса. Иногда причину видят в импакте
Граница триаса и юры (205 млн лет)	Массовое вымирание видов морских беспозвоночных, исчезновение цератитов, появление настоящих аммонитов и т. д. Вымерло 80% семейств древних рептилий. Темпы вымирания составили 10,8% за 1 млн лет	Этот рубеж совпадает с <i>окончанием киммерийского – началом альпийского галактического года</i> . Популярна импактная гипотеза: в пограничных слоях между мелом и палеогеном зафиксированы следы иридиевых аномалий
Граница мела и палеогена (65 млн лет)	Исчезло 50–60% родов. Вымерли аммоноидеи, рудисты, иноцерамы, морские рептилии, динозавры (порядка 30 родов), летающие рептилии и зубастые птицы, среди растений – беннетиты, нильсоннии, чекановские и др.	

ция и кризисное состояние биоты, инвазии и проходы отдельных таксонов и ряд других биотических факторов, можно оценить ранг события, наметить рубежи перестройки биоты и установить основные факторы среды их обитания [8, 27, 46 и др.]. В частности, на примере эволюции сибирских Trochammina можно наблюдать, что последовательно сменяющие друг друга отдельные таксоны на фоне трансгрессивно-регрессивного цикла седиментации палеобассейна показывают определенность тренда их специализации в формообразовании новых таксонов. При этом динамика преобразования популяций бентосных эврибионтов (Trochammina), проходившая методом анаболии при прогрессивной адаптации к периодически меняющимся внешним условиям, была обусловлена постоянством обмена генами в условиях широкой географической экспансии ареала и имела единую филолинию. Этот процесс сопровождался образованием определенных адаптивных форм путем принципиальной реорганизации отношений экотипов к абиотическим факторам среды [38, 59].

В таком виде анализа важно установить причинно-следственную связь и выяснить, какие абиотические факторы оказывали определяющую роль в перестройке биоты. Особую важность для данных исследований приобретает глубокий анализ био-

разнообразия фауны и флоры в истории формирования конкретных бассейнов седиментации. Так, например, на северо-западе Азии имеются лишь единичные разрезы рэтского и геттангского ярусов, в которых можно проследить характер изменения биоты на триасово-юрском рубеже [20]. В отличие от разрезов северо-востока Азиатского континента эти разрезы менее полные, однако они в достаточной мере представлены комплексами ископаемых организмов, что позволяет проанализировать процесс вымирания, преемственности и возрождения некоторых групп органического мира на границе триасового и юрского периодов.

В позднем триасе сохранялся теплый семигумидный климат со среднегодовыми температурами порядка +20 °C [48], близкие климатические условия сохранялись и в раннеюрскую эпоху. В рэтском веке на территории Сибири были широко развиты мелководно-прибрежные и континентальные фауны. Морские сообщества практически нацело состояли из двустворчатых моллюсков и в меньшей мере – фораминифер. Установлено, что триасово-юрский кризис биоты в глобальном масштабе не был катастрофическим, перестройка сообществ происходила постепенно и вымирание на границе триаса и юры не было столь внезапным. На триасово-юрском рубеже вымерли только конодонты.



Главные фазы вымирания среди других морских организмов (цефалопод и брахиопод) имели место незадолго до конца триасового периода. Исчезновение ряда таксонов было постепенным и в разных группах носило выборочный характер. В значительных количествах вымерли наутилоидеи: к концу терминального триаса исчезли один отряд и три надсемейства, и только Nautilaceae перешли триасово-юрский рубеж. В конце норийского века резко сократилось биоразнообразие аммоноидей, вымерли два надсемейства, а в конце рэта полностью исчезли цератиты [56]. В ассоциациях брахиопод к концу позднего триаса прекратили существование последние представители основного палеозойского отряда Strophomenida. В конце позднего триаса вымерло большинство палеозойских групп, и лишь надсемейства Spiriferinacea и Koninckinacea продолжили существование в раннем лейасе, но уже на значительно сокращенных ареалах. На рубеже триаса и юры перестройка ассоциаций брахиопод была такой же значительной, как и на границе палеозоя и мезозоя, явлений катастрофического характера в изменении систематического состава брахиопод не отмечается [6].

На границе триаса и юры вымерли практически все виды двустворок. Изменения родового состава были вариабельны. Так, в Тетической области произошло резкое обновление двустворчатых на родовом уровне [56], а в бореальных регионах отмечается абсолютная преемственность: вымерло пять таксонов, появились два, остальные принадлежат к транзитным формам. На триасово-юрском рубеже исчезло около 55 родов (35% от общего числа известных в триасе) и ряд семейств фораминифер. Большие потери понесли милиолиды, инволютиниды и роталииды [3]. На суше переход от триаса к юре в палеоценозах был постепенным. Так, сообщества наземных и водных амфибий и рептилий подверглись существенной перестройке еще в карнийское время: исчезли лабиринтодонты и появилась группа архозавров – динозавры, птерозавры и крокодилы, а фитозавры и етозавры продолжали жить до самого конца триасового периода [55 и др.].

Наземная растительность не претерпела столь резких изменений в отличие от многих групп животного мира. В ассоциациях флоры выявлено большое сходство поздне триасовых и раннеюрских форм. Перестройка сообществ происходила на фоне значительного сокращения бассейнов с морским режимом осадконакопления в рэтском веке и постепенного возрастания площадей морской седиментации в начале геттанга. Таким образом, на триасово-юрском рубеже перестройка сообществ не была катастрофической, а носила постепенный и выборочный характер. Основная причина вымирания биоты связывается с регрессией в конце терминального триаса и, возможно, с существованием аноксидных условий, возникших в результате обширной геттангской трансгрессии [20, 54].

Из перестроек межрегионального, точнее, бореального ранга весьма примечательны раннеоленекская, раннетоарская и волжская. Эти события имеют много общего и связаны с формированием доманикоидных фаций [7, 57]. В биотическом отношении они характеризуются нивелировкой систематического состава (правда, разной продолжительности), инвазией ряда таксонов из акваторий низких широт [25, 51]. Для этих событий в этологотрофической структуре сообществ типично резкое господство хищных беспозвоночных, что свидетельствует о значительной биомассе продуцентов [12]. Во время раннеоленекского события формировались битуминозные известняки (чекановская свита), раннетоарского – битуминозные глины (тогурская, китербютская и сунтарская свиты), волжского – кремнисто-битуминозные (баженовская свита) в близких климатических условиях (в семиаридном климате со среднегодовыми температурами от +21–24 в раннем тоаре до +23–27 °С в раннем оленеке) и максимальных бореальных трансгрессиях в триасовом и юрском периодах. Раннеоленекское событие и в целом увеличение биомассы произошло после активной вулканической деятельности, тогда как раннетоарской и волжской перестройкам вулканизм не предшествовал. Пожалуй, в этом их единственное различие [7, 57].

С общих позиций структурные преобразования палеоэкосистем могут быть объяснены либо глобальными перестройками биосферы Земли, либо внутренними тектоноседиментационными процессами определенной геодинамической системы [38, 42, 44, 46, 58, 59]. Именно такая совокупность глобальных и региональных факторов наиболее четко выражена в динамике развития внутри- и эпиконтинентальных мегабассейнов Сибири, где установлена последовательная связь в трансформации обстановок седиментации и родового состава биоты (рис. 1).

От начала становления и на протяжении всего мезозойского времени трансгрессивно-регрессивная последовательность седиментогенеза [9] обуславливала закономерность путей миграции, таксономического разнообразия и популяционной плотности организмов, заселявших обширную Западно-Сибирскую акваторию, что выражено в периодичности синхронных перестроек палеоэкосистем. Наиболее ярким примером данной концепции является поведение такой пионерной бентосной фауны, как аммодискусы. Географическое распространение и временная приуроченность плотных популяций представителей рода *Ammodiscus* показывает, что их появление и расселение связаны с трансгрессивными фазами седиментогенеза и соответствуют переломным моментам в развитии морской биоты [46]. В общих чертах колебания уровня сибирских палеоморей совпадают с общей направленностью эволюции биоты, что и определяет этапность в развитии и расселении отдельных групп. Об этом сви-

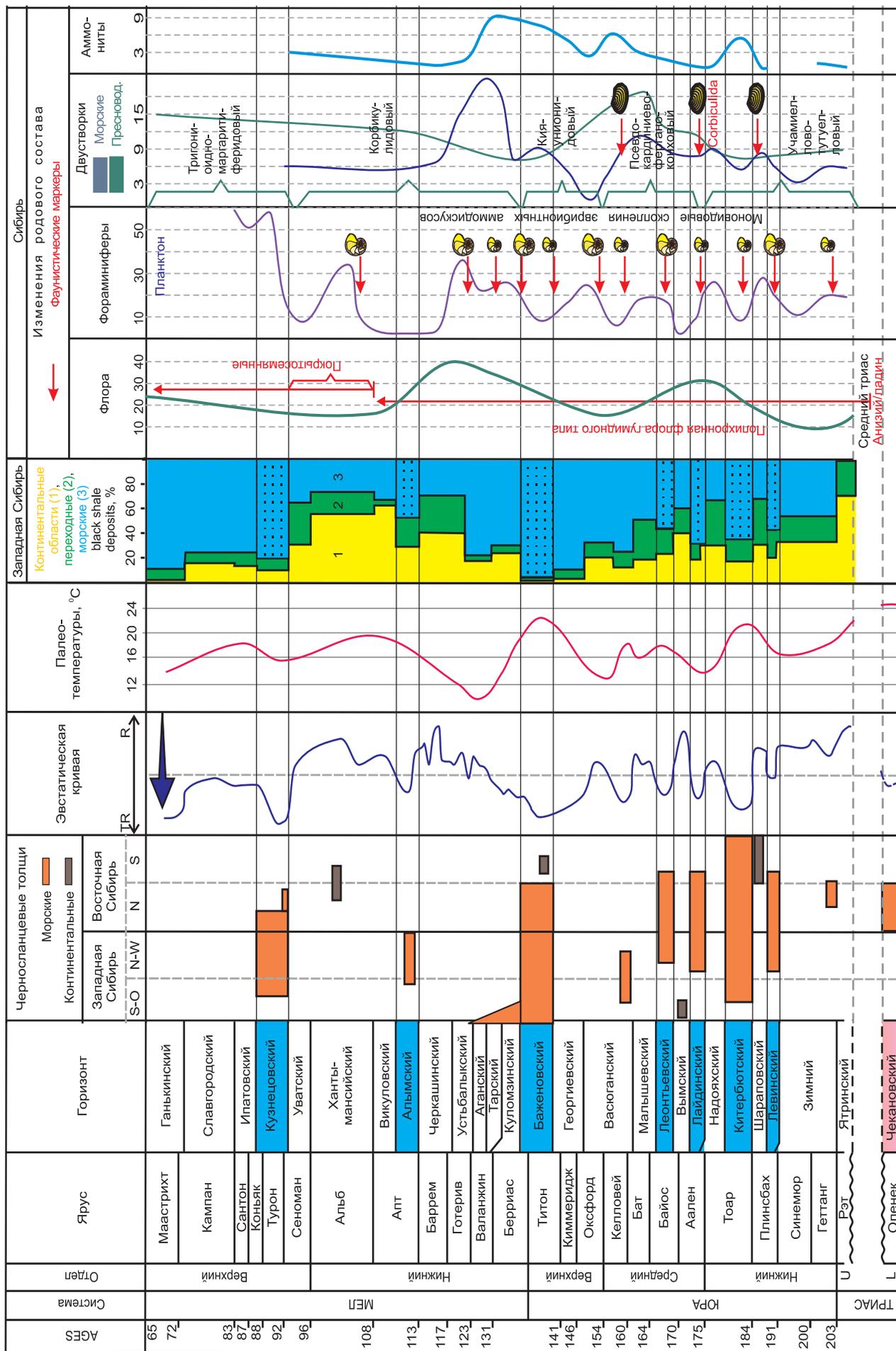


Рис. 1. Обстановки седиментации и состояние биоты юры и раннего мела Сибири (по В. П. Девятову, В. В. Сапьянику, 2015) с уточнениями [7, 58]

детельствует геологическая одновременность падения уровня морей (сокращение площади акваторий) и кризисного состояния – повышения уровня морей и, соответственно, нивелировка при дальнейшей дифференциации морской биоты [27].

Таким образом, в строении терригенной толщи мезозоя внутриконтинентальных и окраинных палеобассейнов Сибири значительную роль играют мелководные и прибрежно-морские образования юры и неокома, охарактеризованные различными типами ископаемой фауны. При этом наибольший потенциал автохтонного захоронения имеют фораминиферы, как группа организмов, обитающих на границе вода – осадок и образующих относительно плотные популяции в различных типах морской среды (болота, эстуарии, прибрежные лагуны и др.). Данная группа фауны является хорошим индикатором обстановок седиментации и может успешно использоваться для корреляции литостратиграфических подразделений, поскольку биономические связи ассоциаций фораминифер уверенно прослеживаются на территориях Западно-Сибирской плиты, Сибирской платформы, Северного Кавказа, Русской равнины, Баренцевоморской шельфовой плиты. Для них разработаны достаточно детальные схемы по различным группам ископаемых организмов [29, 53]. Поэтому анализ онтогенеза отдельных таксонов в филогенетических рядах эволюционной последовательности юрских фораминифер – один из показателей динамического развития палеоэкосистемы, а отражение трендов экологической эволюции древних таксонов и их совокупностей в современных разрезах играет роль временной шкалы и представляет биостратиграфические подразделения как комплексного, так и филогенетического обособления.

В связи с изложенным рассмотрим некоторые аспекты экологической эволюции бентосных фораминифер.

Анализ распределения всего комплекса юрских фораминифер в изученных полифациальных разрезах Сибири выявил, что в толще юрских образований непрерывно представлены последовательные ряды четко различающихся и, несомненно, родственных между собой отдельных представителей родов *Ammodiscus*, *Trochammina* и *Lenticulina*. Иные же формы в своей последовательности обнаруживают хиатусы – временные интервалы, неблагоприятные для расселения экологически толерантных форм. В то же время наибольшие темпы эволюции, связанные с эвстатическими колебаниями палеобассейнов, наблюдаются у эврибионтных трохаммин и стеногалинных лентикюлин [38, 41, 43, 44, 59]. Такую закономерность общего развития динамических систем хорошо объясняет основной тезис С.С. Шварца [50], обосновавшего изучение эволюционных проблем с учетом экологических закономерностей. Он отмечает, что динамика преобразования популяций обусловлена постоянством

обмена генами и не требует разделения ее ареала на полностью либо частично изолированные микропопуляции. Данная концепция развивается в работах А.В. Каныгина по экологической эволюции остракод: «...возникновение новых экоморфотипов и вспышки видообразования связаны с возникновением новых экологических ниш и, стало быть, новых экологических связей, что, в свою очередь, определяется структурно-функциональными перестройками экосистем» [13].

Такую направленность динамической системы хорошо отображают эволюционные преобразования отдельных представителей родов *Trochammina* и *Lenticulina*. В результате монографического описания [41, 43] установлено, что форма камерки у многокамерных фораминифер является не только прекрасным отличительным признаком видовой диагностики, но и хорошим объектом для изучения онтогенеза (рис. 2).

В частности, у девяти видов трохаммин наблюдается рекапитуляция в формообразовании ранних камер (рис. 3). В их развитии, проходившем путем надставки на конечных стадиях онтогенеза, т. е. по способу анаболии, проявились тенденции к измене-

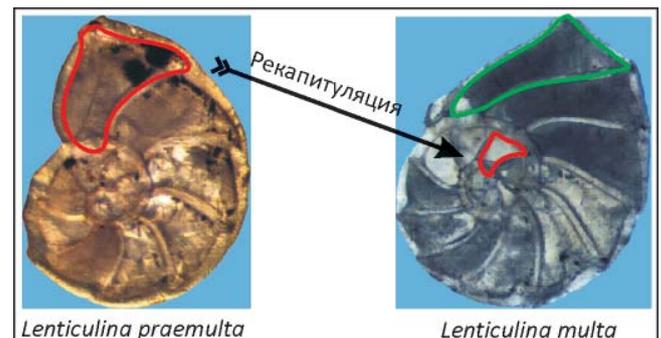


Рис. 2. Пример рекапитуляции в формообразовании ранних камер тоарских лентикюлин

нию изгиба радиальных швов, соотношения длины и ширины камер и, как результат, изменялась уплощенность раковины.

У лентикюлин, так же как и у трохаммин, филогенетическое развитие идет путем надставки на конечных стадиях онтогенеза, на ранних же стадиях каждая особь содержит информацию о морфологии ее взрослых предков (см. рис. 2). При этом у лентикюлин изменяются относительная вздутость камер, их высота и количество.

В данном случае установлена моновидовая последовательность таксонов единой филолинии, в отличие от географического процесса видообразования, при котором должно идти неизбежное увеличение числа видов. Особенность данного процесса наиболее характерна для эврибионтных трохаммин, на примере которых наблюдается прямая корреляция трансгрессивной направленности седиментогенеза с формообразованием конических раковин и наоборот – регрессивный цикл обуславливает расширение уплощенных форм (см. рис. 3).

Общая стратиграфическая шкала				Региональные биостратиграфические подразделения				
Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Ф-зоны филогенетического обоснования				
				Зона				
ЮРСКАЯ	Средний	Байосский	Нижний	Stephanoceras humriesianum		Trochammina praesquamata		
				Otoites sauzei				
				Witchella laeviuscula				
				Hyperlioceras discites				
		Ааленский	Верх.	Graphoceras concavum				
				Ludwigia murchisonae				
				Leioceras opalinum				
		Нижний	Верхний	Dumortiera levesquei				Trochammina taimyrensis
				Grammoceras toarcense				
				Haugia variabilis				
	Тоарский		Нижний	Hildoceras bifrons		Trochammina kisselmani		
				Harpoceras falcifer				
	Плинсбахский		Верхний	Dactylioceras tenuicostatum		Trochammina inflataeformis		
				Pleuroceras spinatum				
				Amaltheus margaritatus				
			Нижний	Amaltheus stockesi				Trochammina lapidosa
				Productylioceras davoei				
		Tragophiloceras ibex						
	Синемюрский	Верхний	Uptonia jamesoni		Trochammina inusitata			
			Echioceras raricostatum					
Oxynoticeras oxynotum								
Ниж.		Asteroceras obtusum						
		C. turneri						
A. semicostatum								
A. bucklandi								
Геттангский		Schlothemia angulata		Trochammina zvetkovi				
		Alsatites liasicus						
		Psiloceras planorbis						

Рис. 3. Филогенетическая схема раннеюрских *Trochammina*



Так, в своем развитии при периодическом трансгрессивно-регрессивном состоянии эпиконтинентальных палеобассейнов Сибири популяции вида *Trochammina zvetkovi*, имея коническую плотносвернутую раковину, во время наступления регрессивного цикла проявляли тенденцию к изменению уплощенности раковин и некоторому выпрямлению радиальных швов. В результате происходило формообразование популяций сильно уплощенных, более многокамерных особей с несколько сильнее расширяющимися оборотами спирали, при этом образовавшийся новый вид – *T. sublapidosa* – в ранних оборотах сохраняет округло-трапециевидную форму камер дорзальной стороны, которые характеризуют поздние обороты геттангской *T. zvetkovi*. При наступлении трансгрессивного цикла происходит обратная реакция: возвращение к предыдущему состоянию данной динамической системы, т. е. осуществляется формообразование популяций высококонических плотно свернутых *T. nusitata*. Но приобретение таких очень высококонических форм для трохаммин, по всей вероятности, было еще преждевременным и по своей сути являлось только продуктом одностороннего изменения в условиях одностороннего отбора, т. е. инадаптации. Это успешно выразилось в возврате к уплощенной форме раковины. Высококонический морфотип обуславливал перекалфикацию динамической системы к существованию в более стенобионтных условиях, а поскольку генетические связи хорошо преадаптированных уплощенных морфотипов не прерывались, то высококонические формы трохаммин периодически заменялись более простой и универсальной для возможных адаптаций уплощенной формой раковин.

Аналогичная модель эволюционного развития наблюдается и на примере более толерантной к палеоэкологическим обстановкам группы таксонов рода *Ammodiscus*. Географическое распространение и временная приуроченность плотных популяций представителей этого таксона в юре и неокоме Сибири связываются с трансгрессивно-регрессивной последовательностью седиментации Арктического бассейна, а размерность раковин аммодискусов зависит от абиотического фактора среды их обитания. Так, из сопоставления стратиграфического положения аммодискусовых слоев, содержащих различные по размеру скелеты раковин, с температурной кривой видно, что формы с крупными раковинами обитали в условиях относительно низких положительных температур, а с мелкими – относительно высоких [46].

Таким образом, последовательность эволюционных трендов юрских трохаммин, лентикюлин и аммодискусов доказывает устойчивость данных разноплановых биосистем, которые имели возможность возврата к сбалансированному состоянию, сохранившемуся в природной памяти определенной биотической системы.

Локальные аспекты реконструкции юрских палеоэкосистем Сибири по фораминиферам

Рассмотрим основные параметры формирования палеоэкосистем в юрских бассейнах седиментации на рубеже суши и моря (литораль – сублитораль) с палеоглубинами не более 200 м.

Экосистемы обособляются на участке палеорельефа с конкретным морфологическим строением, переход к иному морфологическому телу обозначает смену экосистем.

Каждой экосистеме свойственен характерный литологический состав горных пород и определенный комплекс палеонтологических остатков.

Геоморфологические особенности палеорельефа контролируют седиментогенез и разнообразие биоценозов.

Направленность (прямолинейная либо дискретная) седиментогенеза определяет пестроту биотопов и, соответственно, состав и ареалы расселения биоты, что служит основанием для дифференциации либо группировки экосистем.

Процесс новообразования или деструкции экологических ниш на общем фоне развития бассейна седиментации определяет роль экосистемных взаимодействий отдельных таксонов с внешней средой и, в свою очередь, сказывается на скорости и направлении эволюции популяции как экологически толерантных, так и эврибионтных таксонов [38, 44, 46, 59].

Таким образом, тесная связь между биотическими и абиотическими компонентами природы позволяет, с одной стороны, изучать взаимное влияние параметров окружающей среды на формирование и распространение биоценозов, а с другой – использовать биотический фактор в качестве индикатора окружающей среды.

«Биофациальная чувствительность» фораминифер дает обширный материал для достаточно корректных палеогеографических выводов [26]. Однако фораминиферы юры в палеоэкологическом отношении практически не изучены, несмотря на то что они часто имеют решающее значение при корреляции разрезов в составлении стратиграфических схем, особенно для закрытых территорий.

На современном этапе исследований однозначно установлено, что расселение фораминифер в краевых морях и океанах контролируется физико-химическими условиями среды обитания, из которых наиболее важны глубина, температура, соленость, газовый режим и динамика придонных вод [34–37, 45 и др.].

Предприняты попытки обобщения закономерностей и качественного распределения древних фораминифер в основных типах фаций позднеюрских и неокомских морей Западной Сибири [26]. Рассмотрены комплексы раннеюрских фораминифер и их связь с биомическими условиями в морях



Западной Якутии [33]. Проанализированы условия обитания келловейских комплексов фораминифер севера Средней Сибири [23]. Достаточно обширные данные по палеоэкологии позднеюрских и меловых фораминифер Западной Сибири приведены в работах тюменских микропалеонтологов [52]. Рассмотрены абиотические причины одновременного широкого географического распространения аммодискусов в юрских и раннемеловых морях Сибири [46]. Проанализированы данные о приуроченности бентосных фораминифер к физико-химическим факторам в тоар-ааленских морях Сибири [8].

Под контролем данных «образа жизни» современного и ископаемого бентоса [12, 13, 25, 34–37, 51, 52 и др.] проведен анализ распределения отдельных таксонов юрских фораминифер в многочисленных разнофациальных разрезах естественных обнажений и скважин Западной и Восточной Сибири [8]. В результате выполнена экологическая классификация рассматриваемой группы организмов (табл. 2) [15].

На основе указанной классификации с учетом особенностей седиментогенеза палеобасейнов [25, 39, 40, 42, 44, 54, 58], а также построений по другим группам бентосных организмов [26, 27, 51, 52, 54] в раннеюрских эпиконтинентальных морях Сибири установлены следы девяти фациальных обстановок с характерными только для них конкретными группировками экоморф фораминифер – типы биофаций, которые последовательно сменяют друг друга от палеоберега к центральным частям седиментационных бассейнов (рис. 4).

Лагуны, авандельты, заливы

Авандельты. Расчетная глубина до 20 м. Грунт илистый, реже песчаный. Соленость вод значительно ниже нормально-морской. Придонные воды с большим перепадом температуры. Аэрация хорошая. Геохимическая обстановка в придонном слое осадка преимущественно окислительная. Массовые моновидовые скопления толстостенных реофильных *Ammodiscus* ex gr. *pseudoinfimus*. Двустворчатые моллюски представлены мелководными реофилами *Tancredia*, *Myophoria*, часто образующими прослои и линзы ракушняка. Пелагические организмы не установлены. В типовых разрезах часто присутствие косых серий с детритом по плоскостям напластования, линзы песчаников и конгломератов, крупномерные обломки обугленной древесины, хорошо окатанная уплощенная галька и редкие валуны.

Солоновато-водные лагуны. Расчетная глубина до 20 м. Грунт глинистый. Соленость вод ниже нормально-морской. Придонные воды относительно теплые. Аэрация плохая, возможно сероводородное заражение. Геохимическая обстановка в придонном слое осадка преимущественно восстановительная. Массовые моновидовые скопления тонкостенных реофобных *Ammodiscus* ex gr. *glutaseus*, часто с пиритизированными раковинами. Двустворчатые моллюски представлены любителями

слабой гидродинамики *Dacryomya* и ракушняковыми прослойками мелководных *Tancredia*. Пелагические организмы не установлены. В типовых разрезах наблюдается тонкая горизонтальная слоистость пород с намывами обильного растительного детрита по плоскостям напластования.

Верхняя сублитораль

Прибрежное мелководье с неустойчивой соленостью. Расчетная глубина 0–20 м. Грунт песчаный, илисто-песчаный. Соленость вод близка к нормально-морской. Придонные воды с большим перепадом температур. Аэрация хорошая. Геохимическая обстановка в верхнем слое осадка преимущественно окислительная. Фораминиферы толстостенные, преимущественно секреторные (до 67%): доминанты – оксифильные *Saccammina* ex gr. *ampullacea*, субдоминанты – реофильные *Ammodiscus* ex gr. *pseudoinfimus* и *Marginulinopsis* либо *Pseudonodosaria*, сопутствуют им мелководные реофилы – *Ammobaculites* ex gr. *alaskensis*. Двустворчатые моллюски представлены мелководными реофилами *Harpax* ex gr. *laevigatus* либо *Tancredia*, сопутствуют им эврибатные реофилы *Meleagrinea* либо мелководные реофилы *Myophoria*. Редко встречаются разрозненные позвонки ихтиозавров. В типовых разрезах наблюдается грубая субгоризонтальная слоистость песчано-алевритовых пород со следами ряби, линзами конгломератов, крупномерными обломками обугленной древесины, хорошо окатанной округлой галькой.

Прибрежное мелководье с нормально-морской соленостью. Расчетная глубина 20 м. Грунт илисто-песчаный, илистый. Придонные воды с большим перепадом температур. Аэрация хорошая. Геохимическая обстановка в верхнем слое осадка от окислительной до нейтральной. Фораминиферы толстостенные преимущественно агглютинирующие (до 100%): доминанты – реофильные *Ammodiscus* ex gr. *pseudoinfimus* и эврибионтные *Trochammia*, субдоминанты – реофильные *Glomospira* ex gr. *gordialis*, сопутствуют им оксифильные *Saccammina* ex gr. *ampullacea* и *Ammobaculites* либо *Verneuillinoides* и любители слабой гидродинамики *Lenticulina*. Двустворчатые моллюски представлены мелководными реофилами *Harpax* ex gr. *laevigatus* и *Tancredia* либо оксифильными *Pseudomytiloides*, иногда – реофильными *Meleagrinea*; типовые разрезы – чередованием песчано-алевритовых разностей с рассеянной хорошо окатанной овальной галькой, редкими валунами, линзами и прослоями конгломератов и редкими линзочками углефицированных глин.

Мелководье относительно удаленное от берега. Расчетная глубина около 20 м. Грунт илистый, илисто-глинистый. Придонные воды теплые. Аэрация хорошая. Соленость вод нормально-морская. Геохимическая обстановка в придонном слое



Таблица 2

Экологическая классификация раннеюрских фораминифер Сибири

Экологическая группировка	Морфотипы																			
	Этологические			Эдафические			Кислородные			Гидродинамические			Термальные		Солевые		Батиметрические			
	Прикрепляющиеся	Свободнолежащие	Ползающие	Илистые	Илисто-глинистые	Глинистые	Оксифильные	Оксифобные	Эвриоксибионт	Реофильные	Слабая гидродинамика	Реофобные	Термофильные	Термофобные	Эвритермные	Стеногалинные	Эвригалинные	Мелководные	Глубоководные	Эврибатные
<i>Saccamina</i> ex gr. <i>inanis</i>			+			+		+		+				+					+	
<i>S.</i> ex gr. <i>ampullacea</i>			+		+		+		+					+					+	+
Hippocrepinidae		+			+		+			+				+					+	
Reophax			+			+	+			+				+					+	
<i>Glomospira</i> ex gr. <i>gordialis</i>		+			+		+		+					+						+
<i>Gl.</i> ex gr. <i>perplexa</i>		+				+		+			+			+		+				+
<i>Ammodiscus</i> ex gr. <i>glumaceus</i>			+			+		+			+			+			+			+
<i>Am.</i> ex gr. <i>pseudoinfimus</i>			+	+			+		+					+			+			+
Haplophragmooidinae			+		+			+		+				+		+			+	
<i>Ammobaculites</i> ex gr. <i>lobus</i>			+			+		+			+			+			+			+
<i>A.</i> ex gr. <i>alaskensis</i>			+		+		+		+					+			+	+		
Trochammina	+				+			+	+	+	+			+			+			+
Turritellella		+				+	+			+			+				+			
Verneuilinidae			+			+	+			+				+					+	
Lagena			+			+		+		+			+						+	
Nodosaria			+		+		+			+				+					+	
Pseudonodosaria		+		+			+		+					+			+			
Pandoglandulina		+			+		+		+					+						+
Rectoglandulina		+				+		+		+				+						+
Lingulina	+					+	+			+				+					+	
Frondiculinae	+					+	+			+				+					+	
Cornuspira			+			+		+			+		+						+	
Lenticulina			+		+			+		+				+						+
Astacolus	+				+			+		+				+					+	+
Marginulina			+		+		+			+				+						+
Marginulinopsis		+		+			+		+					+			+			
Dentalina	+					+	+			+				+					+	
Vaginulina			+			+	+			+				+					+	
Discorbiinae	+				+			+		+				+					+	
Polymorphinidae			+			+		+		+				+					+	

осадка от окислительной до нейтральной. Фораминиферы толстостенные с практически равным соотношением секреторных и агглютированных форм, среди которых доминируют эврибионтные *Trochammina*, субдоминанты представлены оксифильными *Ammodiscus* ex gr. *pseudoinfimus* и *Hyper-*

ammina либо реофильными *Glomospira* ex gr. *gordialis* и *Marginulinopsis*, сопутствуют им оксифобные: *Saccamina* ex gr. *ampullacea*, *Ammobaculites* ex gr. *alaskensis*, *Nodosaria*; иногда любители слабой гидродинамики *Astacolus* и *Lenticulina*. Двустворчатые моллюски представлены мелководными

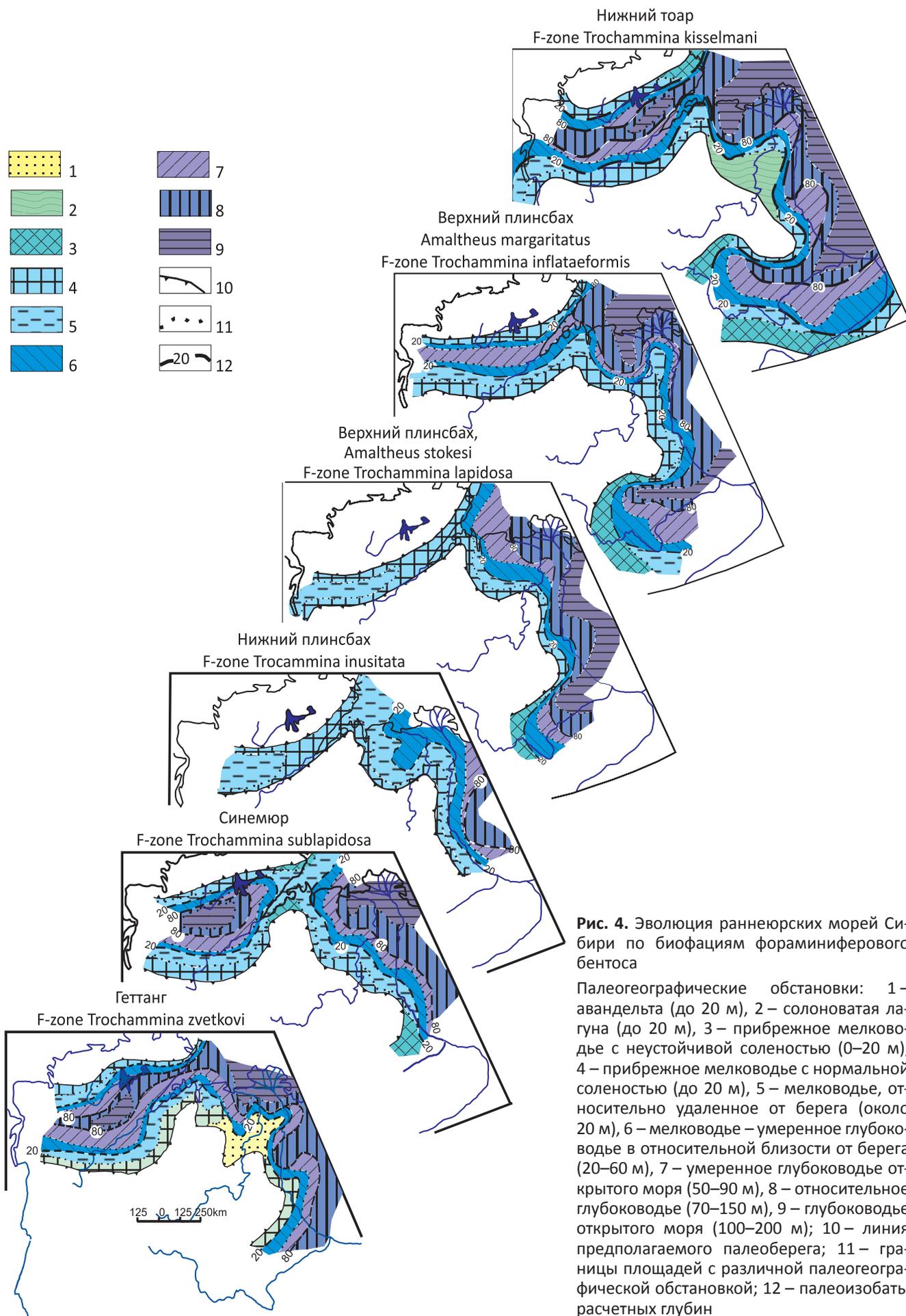


Рис. 4. Эволюция раннеюрских морей Сибири по биофациям фораминиферового бентоса

Палеогеографические обстановки: 1 – авандельта (до 20 м), 2 – солоноватая лагуна (до 20 м), 3 – прибрежное мелководье с неустойчивой соленостью (0–20 м), 4 – прибрежное мелководье с нормальной соленостью (до 20 м), 5 – мелководье, относительно удаленное от берега (около 20 м), 6 – мелководье – умеренное глубоководье в относительной близости от берега (20–60 м), 7 – умеренное глубоководье открытого моря (50–90 м), 8 – относительное глубоководье (70–150 м), 9 – глубоководье открытого моря (100–200 м); 10 – линия предполагаемого палеоберега; 11 – границы площадей с различной палеогеографической обстановкой; 12 – палеоизобаты расчетных глубин



реофилами *Harpax*, *Laevigatus* и *Pleuromya*, иногда любителями слабой гидродинамики *Dacryomya*, им сопутствуют: мелководные реофилы *Tancredia* либо эврибатные реофилы *Meleagrinnella*. Редко встречаются аммоноидеи. В типовых разрезах наблюдаются монотонные толщи алеврито-глинистых пород с шаровыми конкрециями сидеритизированного алевролита, отмечается также практически полное отсутствие мегакластов.

Средняя сублитораль

Мелководье, умеренное глубоководье в прибрежной зоне. Расчетная глубина 60–20 м. Грунт песчано-илистый, илистый. Соленость вод близка к нормально-морской. Придонные воды умеренно холодные. Аэрация хорошая. Геохимическая обстановка в придонном слое осадка от нейтральной до слабоокислительной. Фораминиферы средне-тонкостенные, преимущественно агглютинирующие (до 100%), среди них доминируют реофильные *Glomospira* ex gr. *gordialis*, субдоминанты представлены эврибионтными *Trochammina* и реофильными *Ammodiscus* ex gr. *pseudoinfimus* либо *Saccammina* ex gr. *ampullacea*, сопутствуют им реофильные *Ammobaculites* ex gr. *alaskensis* и оксифильные *Verneuilinoides*, иногда любители слабой гидродинамики *Hyperammina* и *Reophax*. Двустворчатые моллюски представлены реофильными *Harpax* ex gr. *laevigatus*, *Pleuromya*, *Meleagrinnella*, *Tancredia*; реже встречаются любители слабой гидродинамики *Notomya*, *Pseudomytiloides* и реофобные *Malletia*. Довольно часты находки аммоноидей и разрозненных позвонков ихтиозавров. Типовые разрезы представлены неравномерным переслаиванием алеврито-глинистых пород с прослойками и линзами песчаников, рассеянной галькой средней окатанности и обломками обугленной древесины.

Умеренное глубоководье открытого моря.

Расчетная глубина 50–90 м. Грунт илисто-глинистый. Соленость вод нормально-морская. Придонные воды холодные. Аэрация хорошая. Геохимическая обстановка в природном слое осадка от нейтральной до слабовосстановительной. Фораминиферы средне-тонкостенные, в основном секреторные (56–88%): доминанты – эврибионтные *Trochammina* и любители слабой гидродинамики *Astacolus*, субдоминанты – реофобные *Ammodiscus* ex gr. *glumaceus*, любители слабой гидродинамики *Marginulina* и *Pyrulina* либо *Lagena*, сопутствуют им любители слабой гидродинамики: *Hyperammina*, *Haplophragmoides*, *Nodosaria*, *Dentalina* и *Lenticulina*. Двустворчатые моллюски представлены в основном любителями слабой гидродинамики: *Oxytoma*, *Pseudomytiloides*, *Aguilerella* и глубоководными *Limea* и *Taimyrodon*, реже встречаются реофильные *Pleuromya*, *Tancredia*, *Meleagrinnella*. Довольно редки находки аммоноидей. Типовые разрезы представлены монотонными толщами алевритистых глин с шарообразными конкрециями известковистого алевро-

лита, пиритовыми стяжками и редкими обломками обугленной древесины.

Нижняя сублитораль

Относительное глубоководье. Расчетная глубина 70–150 м. Грунт илисто-глинистый. Соленость вод нормально-морская. Придонные воды холодные. Аэрация плохая. Геохимическая обстановка в придонном слое осадка от восстановительной до нейтральной. Фораминиферы небольшие, тонкостенные преимущественно агглютинирующие (63–100%): доминанты – любители слабой гидродинамики *Saccammina* ex gr. *inanis* и реофобные *Ammodiscus* ex gr. *glumaceus* либо эврибионтные *Trochammina*, субдоминанты – любители слабой гидродинамики *Hyperammina* либо *Nodosaria*, которым сопутствуют оксифобные *Ammobaculites* ex gr. *lobus* и любители слабой гидродинамики *Lenticulina*, *Astacolus* либо термофобные *Lagena*. Двустворчатые моллюски представлены любителями слабой гидродинамики *Dacryomya*, *Solemya*, *Eopecten*. Многочисленны находки скелетных остатков ихтиозавров, аммоноидей и белемнитов, более редки – плезиозавров и панцирей ракообразных. Типовые разрезы представлены алевритистыми и алевритовыми глинами с редкими прослойками и линзочками песчаников, обломки крупномерного растительного детрита, редко с хорошо окатанной галькой.

Глубоководье. Расчетная глубина 80–200 м. Грунт глинистый. Соленость вод нормально-морская. Придонные воды холодные. Аэрация плохая. Геохимическая обстановка в верхнем слое осадка слабовосстановительная. Фораминиферы небольшие, тонкостенные преимущественно секреторные (67–89%): доминанты – реофобные *Ammodiscus* ex gr. *glumaceus* и любители слабой гидродинамики *Lenticulina* либо *Globulina*, иногда *Haplophragmoides* и эврибионтные *Trochammina*; субдоминанты – реофобные *Cornuspira* и любители слабой гидродинамики *Hyperammina* и *Astacolus*, иногда *Discorbiinae* либо термофобные *Lagena*. Двустворчатые моллюски представлены глубоководными реофобами *Taimyrodon*, *Limea* и любителями слабой гидродинамики *Dacryomya* и *Pseudomytiloides*. Довольно многочисленны находки аммоноидей, белемнитов и ихтиозавров. Типовые разрезы представлены монотонными толщами тонкоотмученных глин, иногда битуминозные с желваками фосфоритов и практически полным отсутствием мегакластов.

Проведенный анализ седиментолого-бионических данных позволяет проследить особенности эволюции раннеюрских эпиконтинентальных морей Сибири (см. рис. 4) для сравнительно узких временных интервалов, отвечающих установленным фораминиферовым зонам [41].

Выводы

Экосистемный подход базируется на изучении объекта (любого ранга) в качестве «живой» дина-



мической системы и является элементарной ячейкой биосферы с определенными функциональными свойствами. Экосистема со всем разнообразием флоры и фауны, с характерным для нее составом вод, гидродинамикой, температурой, типом донных грунтов и с определенной биологической продуктивностью при изменении направленности внешнего и внутреннего обмена веществ и энергии претерпевает трансформации, которые определяют формирование древних экосистем различного ранга.

1. Палеоэкосистемы обособляются на участке палеорельефа с конкретным морфологическим строением; переход к иному морфологическому телу обозначает смену экосистем.

2. Каждой палеоэкосистеме свойственен характерный литологический состав горных пород и определенный комплекс палеонтологических остатков.

3. Геоморфологические особенности палеорельефа контролируют седиментогенез и разнообразие биоценозов.

4. Направленность (прямолинейная либо дискретная) седиментогенеза определяет пестроту биотопов и, соответственно, состав и ареалы расселения биоты, что служит основанием для дифференциации либо группировки палеоэкосистем.

5. Процесс новообразования либо деструкции экологических ниш на общем фоне развития бассейна седиментации определяет роль экосистемных взаимодействий отдельных таксонов с внешней средой и, в свою очередь, сказывается на скорости и направлении эволюции популяции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алексеев А. С.** Глобальные биотические кризисы и массовые вымирания в фанерозойской истории // Биотические события на основных рубежах фанерозоя. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – С. 22–47.

2. **Алексеев А. С., Дмитриев В. Ю., Пономаренко А. Г.** Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. Вып. 5. Эволюция таксономического разнообразия. – М.: Геос, 2001. – 126 с.

3. **Басов В. А., Кузнецова К. И.** Динамика разнообразия и эволюционные тенденции юрских фораминифер // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2000. – Т. 8, № 3. – С. 74–88.

4. **Булынникова С. П., Белоусова И. А., Богомякова Е. Д.** Новое в биостратиграфии неокома Западно-Сибирской равнины по фораминиферам // Биостратиграфия мезозоя Сибири и Дальнего Востока СССР. – Новосибирск, 1986. – С. 153–159.

5. **Вернадский В. И.** Биосфера. – Л.: Гостехиздат, 1926. – 170 с.

6. **Дагис А. С.** Триасовые брахиоподы (морфология, система, филогения, стратиграфическое значение и биогеография). – Новосибирск: Наука, 1974. – 387 с.

7. **Девятков В. П., Сапьяник В. В.** Главнейшие геологические события мезозоя Сибири // Регио-

нальная геология. Стратиграфия и палеонтология фанерозоя Сибири. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2009. – С. 123–130.

8. **Девятков В. П., Сапьяник В. В.** Особенности распределения бентосных фораминифер в тоараленских морях севера Сибири // Биофациальный анализ при палеогеографических реконструкциях. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1989. – С. 70–77.

9. **Девятков В. П., Князев В. Г., Сапьяник В. В.** Реперные горизонты в нижней и средней юре Сибири // Региональная стратиграфия нефтегазоносных районов Сибири. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1988. – С. 53–60.

10. **Жерихин В. В.** Эволюционная биоценология: проблема выбора моделей // Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. Вып. 1. – М.: Недра, 1994. – С. 13–20.

11. **Жерихин В. В., Раутиан А. С.** Кризисы в биологической эволюции // Анатомия кризисов. – М.: Наука, 1999. – С. 29–47.

12. **Западная Сибирь.** Палеогеографические схемы стратиграфических горизонтов юры / Ю. М. Ильин, В. В. Сапьяник, Л. Ф. Найденов и др. – Тюмень: Тюменский нефтяной научный центр, 2005. – 84 с.

13. **Каныгин А. В.** Экологическая эволюция остракод и проблема видообразования // Среда и жизнь в геологическом прошлом: Аспекты эволюции организмов и среды. – Новосибирск: Наука, 1990. – С. 59–76.

14. **Каныгин А. В.** Экологические типы ордовикских остракод // Среда и жизнь в геологическом прошлом (палеоэкологические проблемы). – Новосибирск, 1974. – С. 87–100.

15. **Колчинский Э. И.** Эволюция биосферы: Историко-критические очерки исследований в СССР. – Л.: Наука, 1990. – 236 с.

16. **Красилов В. А.** Нерешенные проблемы теории эволюции. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. – 140 с.

17. **Красилов В. А.** Палеоэкосистемы // Изв. АН СССР. Сер. Геол. – 1970. – № 4. – С. 114–150.

18. **Красилов В. А.** Эволюция и биостратиграфия. – М.: Наука, 1977. – 256 с.

19. **Курушин Н. И.** Основные биотические и абиотические рубежи в триасовом периоде Сибири // Среда и жизнь в геологическом прошлом: тез. докл. Всерос. симп. – Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН, 2000. – С. 78–79.

20. **Курушин Н. И., Могучева Н. К., Сапьяник В. В.** Изменение биоты на границе триаса и юры Сибири // Эволюция жизни на Земле: матер. II Междунар. симп. – Томск: Изд-во НТЛ, 2001. – С. 279–281.

21. **Левченко В. Ф.** Эволюция биосферы до и после появления человека. – СПб.: Наука, 2004. – 168 с.

22. **Левченко В. Ф., Старобогатов Я. И.** Сукцессионные изменения и эволюция экосистем (некоторые вопросы эволюционной экологии) // Журнал общей биологии. – 1990. – Т. 51, № 5. – С. 619–631.



23. **Лутова З. В.** Стратиграфия и фораминиферы келловея севера Средней Сибири. – М.: Наука, 1981. – 133 с.
24. **Невесская Л. А.** Этапы развития бентоса фанерозойских морей. Мезозой. Кайнозой – М.: Наука, 1999. – 498 с.
25. **Никитенко Б. Л.** Стратиграфия, палеобиогеография и биофацции юры Сибири по микрофауне (фораминиферы и остракоды). – Новосибирск: Параллель, 2009. – 680 с.
26. **Палеобиофацции** нефтеносных волжских и неокомских отложений Западно-Сибирской плиты / С. П. Булынникова, А. В. Гольберт, А. Э. Конторович и др. – М.: Недра, 1978. – 87 с.
27. **Палеогеография** Севера СССР в юрском периоде / В. А. Захаров, М. С. Месежников, З. З. Ронкина и др. – Новосибирск: Наука, 1983. – 190 с.
28. **Палеонтологический словарь** / под ред. Г. А. Безносовой, Ф. А. Журавлевой. – М.: Наука, 1965. – 615.
29. **Практическое** руководство по микрофауне СССР. Т. 5. Фораминиферы мезозоя / А. Я. Азбель, В. С. Акимец, Л. В. Алексеева. – Л.: Недра, 1991. – С. 210–222.
30. **Разумовский С. М.** Закономерности динамики биоценозов. – М.: Наука, 1981. – 231 с.
31. **Разумовский С. М.** Избранные труды. – М.: КМК Scientific Press, 1999. – 560 с.
32. **Решение VI** Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири. Региональные стратиграфические схемы триасовых и юрских отложений Западной Сибири / гл. ред. Ф. Г. Гурари. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2004. – 113 с.
33. **Рулева Н. П.** Новые ранне- и среднеюрские лентиккулины Западной Якутии // Новые роды и виды древних растений и беспозвоночных СССР. – Л.: Недра, 1980. – С. 77–83.
34. **Саидова Х. М.** Бентосные фораминиферы Мирового океана. – М.: Наука, 1976. – 160 с.
35. **Саидова Х. М.** Бентосные фораминиферы Тихого океана. – М.: Ин-т океанологии АН СССР, 1975. – 143 с.
36. **Саидова Х. М.** Основные закономерности распределения бентосных фораминифер в Тихом океане: автореф. дис. ... д. г.-м. н. – М., 1970. – 48 с.
37. **Саидова Х. М.** Экология фораминифер и палеогеография дальневосточных морей СССР и северо-западной части Тихого океана. – М.: АН СССР, 1961. – 264 с.
38. **Сапьяник В. В.** Аспекты экологической эволюции бентосных фораминифер // Эволюция жизни на Земле: матер. 1-го Междунар. симп. – Томск: Изд-во НТЛ, 1997. – С. 51–52.
39. **Сапьяник В. В.** Биофацции фораминиферового бентоса в раннеюрских морях Сибири // Эволюция экосистем: тез. докл. Междунар. симп. – М.: ПИН РАН, 1995. – С. 109–110.
40. **Сапьяник В. В.** Геоморфология юрских субаквальных ландшафтов Западно-Сибирского бассейна как определяющий фактор формирования потенциальных коллекторов и нефтегазогенерирующих толщ // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО: Девятая науч.-практ. конф. Т. I. – Ханты-Мансийск, 2006. – С. 67–76.
41. **Сапьяник В. В.** Расчленение ниже-среднеюрских отложений Сибири по фораминиферам // Геология и нефтегазоносность триас-среднеюрских отложений Западной Сибири. – Новосибирск, 1991. – С. 63–79.
42. **Сапьяник В. В.** Следы раннеюрских трансгрессий на юге Западной Сибири // Докл. РАН. – 2000. – Т. 371, № 5. – С. 663–665.
43. **Сапьяник В. В.** Тоарские фораминиферы Средней Сибири // Детальная стратиграфия и палеонтология юры и мела Сибири. – Новосибирск: Наука, 1991. – С. 106–113.
44. **Сапьяник В. В.** Эволюция бентосных эврибионтов как основа создания биостратиграфической шкалы ниже-среднеюрских отложений Западной Сибири // Стратиграфия и палеонтология Сибири. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2000. – С. 148–156.
45. **Сигаль Ж.** Отряд фораминиферы: Пер. с франц. – Л.: Гостоптехиздат, 1956. – 222 с.
46. **Стратиграфическое** положение и условия формирования маркирующих слоев с аммодискусами в юре и раннем мелу Сибири / С. П. Булынникова, В. П. Девятов, В. В. Сапьяник, В. К. Комиссаренко // Биофациальный анализ при палеогеографических реконструкциях. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1989. – С. 63–70.
47. **Сукачев В. Н.** Биогеоценоз как выражение взаимодействия живой и неживой природы на поверхности Земли: соотношение понятий «биогеоценоз», «экосистема», «географический ландшафт» и «фацция» // Основы лесной биогеоценологии / под ред. В. Н. Сукачева, Н. В. Дылиса. – М.: Наука, 1964. – С. 5–49.
48. **Температурный** режим триасовых морей северо-восточной Азии в связи с проблемой нефтегазоносности / А. В. Гольберт, А. М. Казаков, В. И. Николаев, В. П. Стрижов // Проблемы геологии и нефтегазоносности верхнепалеозойских и мезозойских отложений Сибири. – Новосибирск, 1984. – С. 87–97.
49. **Темпы** эволюции органического мира и биостратиграфия: матер. LVII сес. палеонт. об-ва. – СПб., 2011. – 157 с.
50. **Шварц С. С.** Экологические закономерности эволюции. – М.: Наука, 1980. – 278 с.
51. **Шурыгин Б. Н.** Биогеография, фацции и стратиграфия нижней и средней юры Сибири по двустворчатым моллюскам. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2005. – 154 с.
52. **Экология** юрской и меловой фауны Западно-Сибирской равнины. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1981. – 128 с.



53. **Ярусные** и зональные шкалы бореального мезозоя СССР / под ред. В. А. Соловьева. – М.: Наука, 1989. – 223 с.

54. **Biota** of triassic-jurassic boundary in Siberia / V. V. Sapiyanik, N. I. Kurushin, N. K. Mogucheva, L. V. Smirnov // Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources: 32nd International Geological Congress: Abstracts. Part 2. – Florence, Italy, 2004. – P. 1141.

55. **Charig A. J.** A New Look at the Dinosaurs. – London: Heinemann, 1979. – 160 p.

56. **Hallam A.** The end-Triassic bivalve extinction event // Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol. – 1981. – No. 35. – P. 1–44.

57. **Primary** mesozoic abiotic and biotic events in Siberia / V. P. Devyatov, V. V. Sapjanik, A. N. Aleinikov,

et al. // 33rd International Geological Congress. – Oslo, 2008, August, 6–14th. – HPF.

58. **Sapiyanik V. V.** Evolution of paleosea reliefs in Siberia, as the determining factor in the formation of Jurassic landscapes with high primary bioproductivity or increased hydrodynamics of benthonic waters // 34th International Geological Congress: Brisbane, Australia 2012, August 5–10. – HPF 1530P.

59. **Sapiyanik V. V., Devyatov V. P.** Peculiarities of bentic euribiotics (foraminifera) in jurassic basins of Siberia // 33rd International Geological Congress: Oslo 2008, August 6–14th. – HPF 01352P.

60. **Tansley A.** The use and abuse of vegetational concepts and terms // Ecology. – 1935. – Vol. 16, No. 2. – P. 284–307.

© В. В. Сапьяник, 2017



УДК (553.98.041:551.243.4.05):(550.834.5+550.18)(942)

СНИИГГиМС В АВСТРАЛИИ

В. С. Старосельцев

Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

Кратко охарактеризована работа российских специалистов по оперативному изучению геологического строения и обоснованию нефтегазоперспективного погребенного поднятия в центральной Австралии. Отражен опыт выделения по аэрофотоснимкам тектонических линеаментов в условиях постоянно перемещаемых сильными ветрами песков. По результатам полевых наблюдений впервые обосновано направление перемещения надвиговой региональной пластины севернее бассейна р. Финке, противоположное принятому австралийскими специалистами. Прогноз погребенного нефтегазоперспективного поднятия в излучине этой реки подтвержден совокупностью профилей сейсморазведки МОГТ и получением притока углеводородов в глубокой скважине.

Ключевые слова: обоснование нефтегазоперспективного погребенного поднятия, обращенный надвиг, р. Финке, погребенное нефтегазоперспективное поднятие, совокупность профилей.

SNIIGGIMS IN AUSTRALIA

V. S. Staroseltsev

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

The paper briefly describes the experience of Russian specialists in studying geological structure and substantiating the presence of a buried high promising for oil and gas in Central Australia. The authors report the experience of identifying tectonic lineaments under conditions of the constant movement of sand by a strong wind. For the first time, field survey results substantiated a regional thrust plate movement direction to the north the Finke River basin, being opposite to the direction approved by Australian specialists. The buried high in the Finke River loop, promising for oil and gas, was substantiated by a set of CDP seismic profiles and a hydrocarbon influx in a deep well.

Keywords: substantiation of a buried high promising for oil and gas, opposite direction of a regional thrust plate movement, the Finke River basin, buried high promising for oil and gas substantiated by a set of profiles.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-6c-180-184

Австралийский континент всегда манил людей своими просторами, уникальным животным миром, специфическим климатом. Чрезвычайно интересен он и для геологов.

История становления геологической службы Австралии тесно связана с европейской (особенно английской) школой. До сих пор происходит обмен высококвалифицированными специалистами между Австралией и Англией, что обеспечивает высокий профессиональный уровень работающих в Австралии геологов и геофизиков. Поэтому группа сотрудников СНИИГГиМС (Г. А. Исаев, А. И. Ларичев, В. И. Лотышев, А. В. Мигурский, Г. Г. Ремпель, Д. И. Рудницкая и я) под руководством академика В. С. Суркова чувствовала огромную ответственность, когда представители австралийской компании CRA («дочки» международной компании Pacific Oils Gas) предложили оценить перспективы нефтегазоносности верхнепротерозойских комплексов центральной Австралии. Для решения этой задачи была сформирована группа из А. И. Ларичева и А. В. Мигурского под моим руководством. А. И. Ларичев изучал накопленный к тому времени каменный материал с геохимической точки зрения, а мы с А. В. Мигурским – тектонику бассейна Амадеус, включая оконтуривающий его с севера региональный надвиг на юг.

Имея огромный опыт использования результатов изучения дислокаций рельефообразующих

пород в естественных обнажениях для прогноза структурного плана залегающих на глубине нефтегазоперспективных горизонтов, я предложил перед началом выполнения контракта провести двух-трехнедельные полевые работы в центральной Австралии (в бассейне Амадеус). Но, к сожалению, австралийские специалисты такую возможность предоставлять нам не стали, заверив, что передадут для работы большой объем геологической информации, включая опубликованные работы, геолого-геофизические построения, космоснимки. И они это сделали, что позволило нам после комплексного анализа получить интересные выводы о перспективах нефтегазоносности бассейна Амадеус.

Особого внимания заслуживал прогноз по космоснимку погребенного поднятия на востоке бассейна в излучине р. Финке. При дешифрировании космоснимка, опираясь на имеющийся опыт, мне удалось выделить признаки погребенного поднятия, которые наиболее четко проявлялись при рассмотрении космоснимка м-ба 1:250 000 только с определенной позиции. Однако результаты дешифрирования не убедили А. В. Мигурского и Г. Г. Ремпеля в наличии достоверных признаков погребенного поднятия. Поэтому при сдаче материала в офисе австралийской компании CRA в Мельбурне пришлось мне предложить австралийским специалистам посмотреть на прикрепленный на стене



Рис. 1. Выступление автора перед представителями в офисе компании Pacific Oils Gas

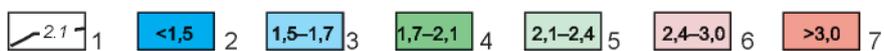
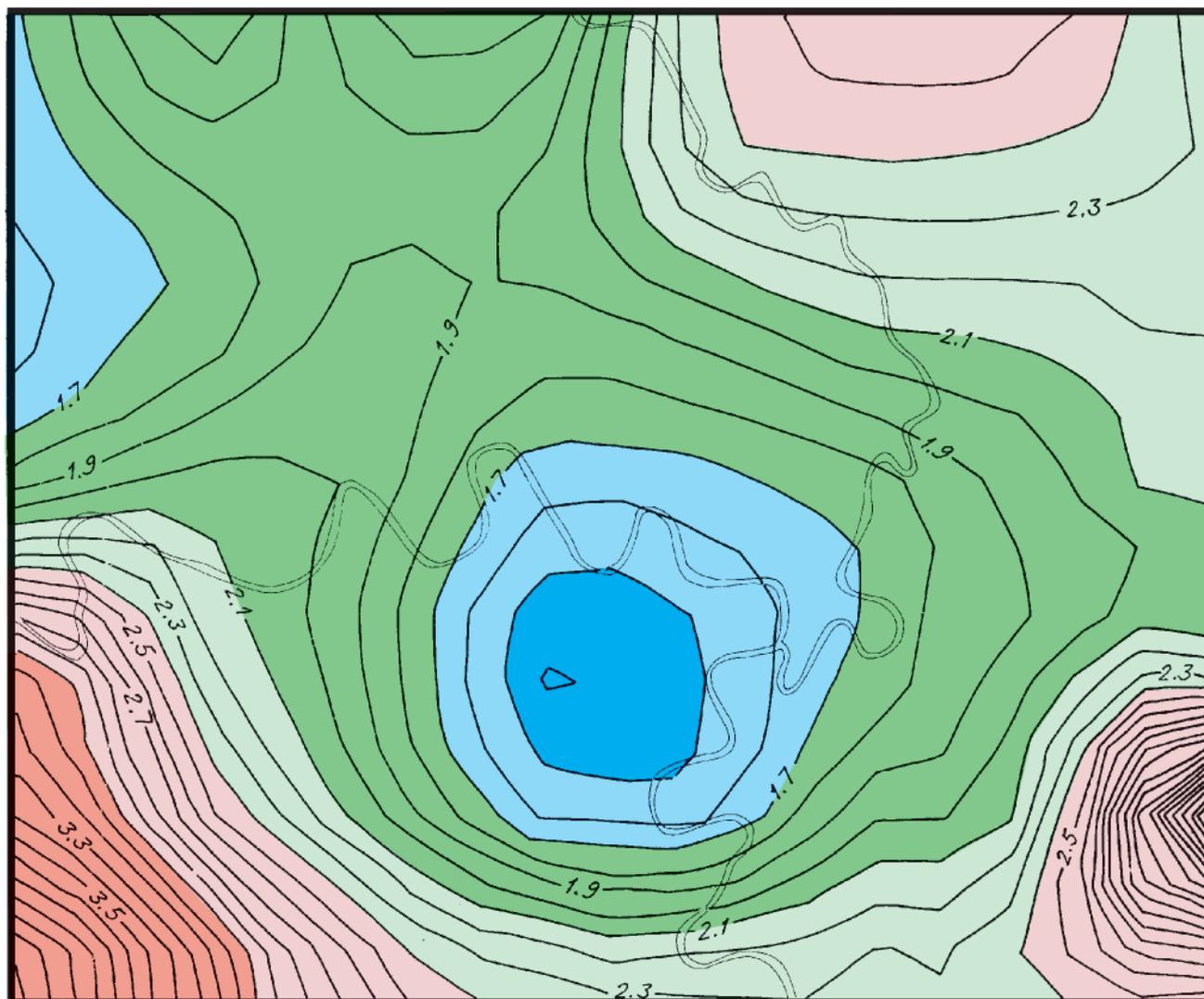


Рис. 2. Карта изолиний удельной протяженности линеаментов в бассейне Амадеус на Австралийской платформе
 1 – изолинии удельной протяженности линеаментов (Σ/l , км); 2–7 – шкала значений удельной протяженности, км

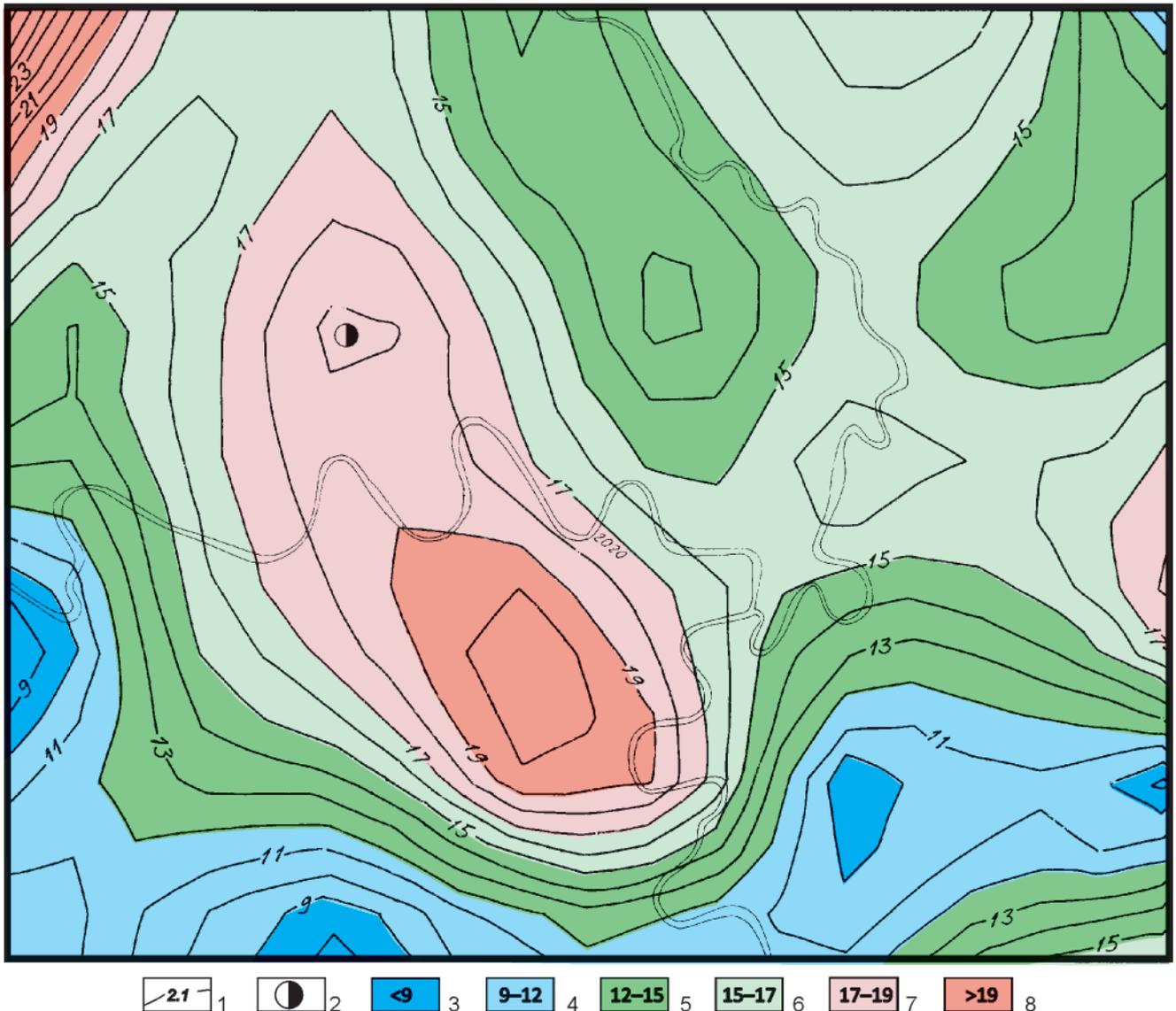


Рис. 3. Карта изолиний отклонений в ориентировке линейментов от пиков розы-диаграммы (бассейн Амадеус)
 1 – изолинии отношений суммарных длин ($\Sigma O/\Sigma L, \%$); 2 – фонтан нефти с газом с глубины 2300 м; 3–8 – шкала отклонений в ориентировке, %

космоснимок с определенной позиции (рис. 1). Несмотря на некоторое замешательство, они выполнили мою просьбу, после чего согласились: да, названные мною признаки имеют место. Мы предложили для проверки прогноза пересечь это поднятие крестом сейсмопрофилей МОГТ, но согласия не получили из-за большой стоимости таких работ. Нам предложили поискать решение задачи менее затратным способом.

И я предложил такой способ. Под моим руководством в СНИИГиМС для условий северо-запада Сибирской платформы была разработана методика прогноза погребенных поднятий на основе совокупности независимых статистических показателей линейментной сети, выделенной при дешифрировании крупномасштабных аэрофотоснимков. Рельефы северо-запада Сибирской платформы и бассейна Амадеус принципиально различались. Тем не менее нам с М. И. Муратовым удалось выделить линейменты на его территории в условиях активно

передвигаемых сильными ветрами песков. Анализ статистических характеристик выделенной линейментной сети позволил полностью подтвердить наличие прогнозируемого погребенного поднятия в излучине р. Финке. На рис. 2, 3, отчетливо видно поведение изолиний удельной протяженности линейментов и изолиний отклонений в ориентировке линейментов от пиков розы-диаграммы. Рассмотрев результаты нашего линейментного анализа, специалисты CRA согласились, что в бассейне р. Финке действительно необходимо выполнить сеть сейсморазведочных профилей (рис. 4). Эта сеть позволила построить структурную карту опорного сейсмического горизонта. Ее анализ однозначно подтвердил наличие в излучине реки погребенного поднятия позднедевонских горизонтов амплитудой порядка 200 м.

После того как в 1991 г. мы сдали компании результаты по второму контракту, нам с А. В. Мигурским предоставили возможность полутораме-

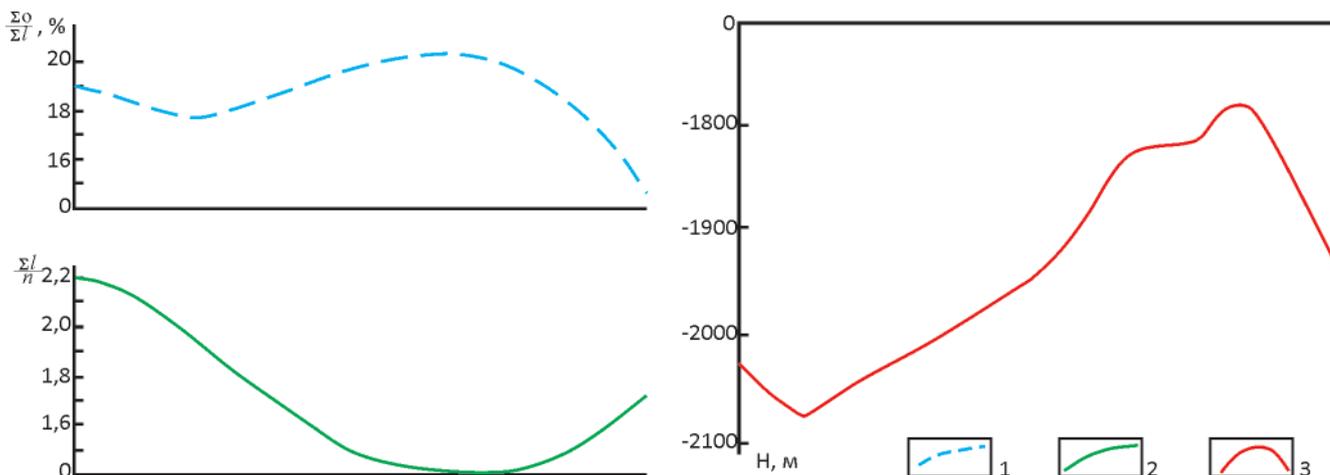


Рис. 4. Соотношение показателей линеаментов с рельефом опорного сейсмического горизонта
 1 – отклонение в ориентировке линеаментов в элементарном квадрате местности от ориентировки пиков региональной розы-диаграммы; 2 – удельная протяженность линеаментов в элементарном квадрате местности; 3 – опорный сейсмический горизонт

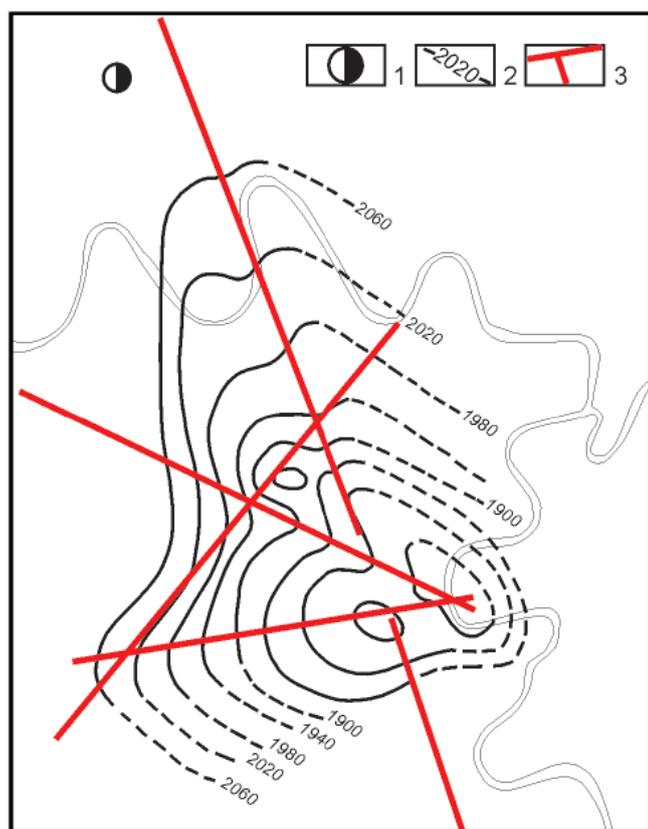


Рис. 5. Структурная карта опорного сейсмического горизонта
 1 – фонтан нефти с газом с глубины 2300 м; 2 – изогипсы опорного сейсмического горизонта (Н); 3 – линии сейсмических профилей

сячных полевых работ в бассейне Амадеус на двух джипах. И оказалось, что лучше было бы провести эти работы перед выполнением первого контракта. Наблюдения на естественных обнажениях позволили мне принципиально изменить представление австралийских геологов о векторе тангенциальных напряжений в северной части бассейна Амадеус: я обосновал опрокинутый характер основного над-

вига, четко выделяющегося на геологической карте к северу от излучины р. Финке.

Во время этих полевых работ мы в полной мере вкусили все прелести уникальной природы центральной Австралии. Мы познакомились с изнуряющей жарой в практически обезвоженных на поверхности песках, по которым лишь месяц в году после обильных дождей текут небольшие ручьи и реки. Интересно, что в этих водотоках появляются рыбы, по 11 месяцев зарывающиеся в песок, влажный на глубине. На этой песчаной поверхности меньше травы, чем продуктов ее переработки коровами, лошадьми, кенгуру и другими животными, встречи с которыми вовсе не редкость. Гораздо реже можно увидеть хищников – дикую собаку динго. Горячая в течение сотен миллионов лет и сухая поверхность Центральной Австралии обусловила появление на глубине несколько десятков метров уникального экзогенного искрящегося огненного опала, который широко используется в женских золотых украшениях.

Климат центральной Австралии способствует превращению на поверхности кварцевых песчаников в сливные кварциты. Мы в этом неоднократно убеждались при изучении в маршрутах естественных обнажений кварцитов, разбивая их с помощью двух молотков (один – в качестве зубила, второй – по прямому назначению) при попытках углубиться в коренные выходы кварцитов, чтобы увидеть на глубине истинную зернистость исходных пород. Только достигнув в дальнейшем южного побережья Австралии вблизи Мельбурна и северного ее побережья вблизи Дарвина, мы смогли ощутить освежающую прохладу океанских вод. Правда, мы были близко к воде и чуть южнее Дарвина – в заповеднике с мелкими водами, но с большим количеством крокодилов разного размера. Искупаться в их компании мы все же не рискнули.

В дальнейшем австралийские специалисты провели шесть сейсморазведочных профилей



Рис. 6. Фонтан углеводородов на спрогнозированном нами поднятии в бассейне Амадеус

МОГТ, которые полностью подтвердили сделанный нами прогноз погребенного поднятия (рис. 5). Пробуренная на локальном перегибе его северного крыла скважина на глубине 2300 м вскрыла четырехметровый пласт рифейского песчаника хеветри, из которого в открытом стволе был получен фонтан газоконденсата (рис. 6). Австралийские геологи сняли его на видеопленку. В одной из научных статей¹ они выразили благодарность российским специалистам за помощь в открытии месторождения угле-

водородов в бассейне Амадеус, а нам выслали эту пленку. Радовались геологи двух континентов.

Приобретенный в Австралии опыт показал, что широкое использование накопленных теоретических и практических знаний на различных континентах земного шара может оказаться весьма полезным при решении геолого-геофизических задач в новых для специалистов регионах, несмотря на существенные различия их геологического строения и климато-орографического состояния.

© В. С. Старосельцев, М. И. Муратов, 2017

¹ Potential from enhanced oil recovery applications in Australia / D. Wright, S. le Poidevin, G. Morrison, R. Thomas // AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics. – 1993. – Vol. 14, no. 4. – P. 343–351.



НЕВОСПОЛНИМАЯ ПОТЕРЯ

IRREPLACEABLE LOSS

Четвертого августа 2017 г. ушел из жизни известный сибирский геолог, ученый и деятель, один из многолетних руководителей СНИИГГиМС, заместитель главного редактора нашего журнала, кандидат геолого-минералогических наук Валентин Михайлович Евтушенко.

На его счету не было больших геологических открытий или крупных научных трудов. Геологии как важной системо-деятельностной структуре в жизни государства нужны не только ученые, разведчики и горнопроходчики. Ей требуются также талантливые, толковые и увлеченные своим делом руководители и организаторы (те, кого сейчас называют менеджерами) – люди, которые обладают необходимой профессиональной эрудицией и широтой взглядов, чтобы видеть существующие проблемы разного масштаба и значимости, находить их решения и, что самое главное, эти решения принимать, контролируя затем их исполнение. Именно таким человеком был Валентин Михайлович. Особенно велика его роль в истории Сибирского НИИ геологии, геофизики и минерального сырья. Он не дожил двух месяцев до празднования 60-летия института, но в том, что институт в принципе «дожил» до этого события, его заслуга – одна из первостепенных.

В дни, предшествующие юбилею, считаем необходимым познакомить наших читателей с жизненным и профессиональным путем Валентина Михайловича и теми его делами, которые делают его одним из главных «виновников» этого торжества.

В. М. Евтушенко родился 6 ноября 1934 г. в Гудермесе Чечено-Ингушской АССР в семье рабочих. Годы учебы и начала трудовой деятельности были связаны с Махачкалой и Грозным, куда семья переезжала на постоянное местожительство. Когда Валентин Михайлович Евтушенко в 1953 г. поступал

в Грозненский нефтяной институт, он, безусловно, рассчитывал посвятить жизнь профессии геолога, представляя ее себе, как и многие, в самом романтическом свете: экспедиции, палатки, лазание по горам с рюкзаком и молотком, песни у костра под гитару. Но, будучи уже тогда натурой общительной, активной и организованной, общественной (в данном случае комсомольской), работы не чурался. Это привело к тому, что после окончания вуза он отклонился от геологической стези, проработав больше года на высоких комсомольских должностях республиканского (Чечено-Ингушского) уровня. Но геология не отпустила, более того, душа и молодость требовали именно романтики неизведанных краев. Дошедшие до Грозного сведения о том, что в Новосибирске недавно создан многопрофильный геологический НИИ, в планах которого работы по всей необъятной Сибири, решили дело. Переписка с руководством СНИИГГиМС длилась недолго, и с февраля 1963 г. Валентин Михайлович навсегда связал свою судьбу с нашим институтом.

Овладение методикой научных исследований под руководством опытных наставников шло успешно, и к 1970 г. Валентин Михайлович уже сложился как перспективный ученый. Подтверждением тому стала защита кандидатской диссертации. Основное направление его научной деятельности было связано с изучением вещества отложений доманикоидного типа. Оно и стало главным стержнем его диссертации «Литолого-геохимические и битуминологические особенности и условия формирования отложений куонамского типа кембрия восточной части Сибирской платформы».

Особое внимание Валентин Михайлович уделял отложениям с высоким содержанием органического вещества, масштабам их развития, условиям



образования и проблемам оценки нефтематеринского потенциала. Впереди ждала хорошо накачанная сотнями коллег колея – от статьи к статье, от диссертации к диссертации, к тому, чтобы стать признанным авторитетом в некоторой конкретной области геологических знаний. Но в диалоге, иногда конфликтном, между «колеей» и характером (точнее, натурой), бывает, побеждает натура.

В советские времена не существовало понятия «научный менеджер», как, впрочем, и самого слова «менеджер», хотя на самом деле таковые, конечно, были. Считалось, что кто начальник, тот и менеджер. Отчасти так оно и есть, но, строго говоря, функции начальника и менеджера все же не совпадают: один руководит только своими подчиненными, у другого задачи несколько шире, он действует в «пространстве» связей и отношений, его стихия не приказы, а согласование и координация. Современная наука, оставаясь занятием индивидуально-творческим, стала еще и делом коллективным, системно организованным, нацеленным на реализацию крупных исследовательских проектов и требующим взаимодействия многих «научных единиц» (отдельных ученых, лабораторий, отделов, целых институтов). Типичным примером работы научного менеджера является деятельность ученого секретаря многопрофильного НИИ, каким с самого начала был СНИИГГиМС. Руководство института проявило немалую дальновидность, назначив в 1970 г. на эту должность новоиспеченного кандидата геолого-минералогических наук В. М. Евтушенко.

Для общественно ориентированной (еще с комсомольских времен) натуры Валентина Михайловича были характерны стремление к росту научного кругозора, умение контактировать с разными людьми, желание быть в гуще (и в курсе) событий институтской жизни. Если искать аналогии в других сферах деятельности, то ученого секретаря можно сравнить с министром иностранных дел института. Прежде всего, он следит за тем, чтобы вся «научная продукция», предусмотренная планами, была «произведена» точно в срок, в том числе планами участия в различных отраслевых и межотраслевых программах и проектах. Подготовка участия сотрудников института в научных конференциях и организация таких конференций «на своей территории» тоже входит в круг его забот. Ну, и много других дел, относящихся к научным связям организации с «внешним миром».

Проработав пять лет в этой должности, В. М. Евтушенко приобрел определенное признание и авторитет в геологической среде – научной и административно-управленческой. Но у него появилось беспокойство: не простился ли он совсем с карьерой ученого? И попросил дать ему возможность вернуться к исследовательским будням. Просьбу удовлетворили.

Однако если человек успешно проявил себя на каком-то поприще, то совсем расстаться с ним

человеку не так-то просто, поприще не отпускает. Например, когда в конце 1970-х гг. начались работы по крупной государственной научно-технической программе «Сибирь» с участием многих академических, отраслевых и вузовских организаций, то по разделу «Нефть и газ Восточной Сибири» СНИИГГиМС в ней представлял В. М. Евтушенко в качестве... ученого секретаря подпрограммы. То же было и с другой межведомственной региональной программой «Поиск» в 1990-е гг.

Так или иначе, постепенно главным занятием Валентина Михайловича стали дела общеинститутской значимости. Причем не только по научно-производственной линии (например, вопросы информационного обеспечения разработок института и их внедрения в геолого-разведочное производство), но и по общественной (председатель месткома, позднее – Совета трудового коллектива, член президиума Новосибирского территориального комитета профсоюза рабочих геолого-разведочных работ). При этом было не столь существенно, какую должность он занимал формально, он всегда оставался одним из ответственных и инициативных лиц и в администрации, и в коллективе. Впрочем, один неофициальный, но важный статус сохранялся за ним все время: ученый секретарь(!) Совета руководства СНИИГГиМС – совещательного органа при генеральном директоре, возникшего еще в те времена, когда Валентин Михайлович был штатным ученым секретарем.

В 1990-е гг., когда произошли кардинальные перемены в жизни страны, а следовательно и в СНИИГГиМС, вопрос грамотного менеджмента стал, по сути дела, условием выживания института. Авторитет тогдашнего директора, академика РАН Виктора Семеновича Суркова и дружная работа администрации (при весьма активном участии В. М. Евтушенко) позволили институту сохранить свой статус государственного НИИ и практически все направления исследований. При этом был приобретен бесценный опыт работы в новых условиях. Вынужденное сильное сокращение численности сотрудников необходимо было компенсировать ростом «производительности научного труда». Один из путей – массовое использование современных информационных технологий во всех процессах жизнедеятельности института. Курировать этот вопрос было поручено именно Валентину Михайловичу. Серьезный подход к делу вылился в решение окончить специальные централизованные компьютерные курсы. Согласимся, что для человека в 55-летнем возрасте, далекого от вычислительной техники, это весьма неординарный шаг. Зато сегодня компьютерная сеть СНИИГГиМС – одна из самых развитых и в Новосибирске, и среди геологических организаций отрасли. А Евтушенко до конца лично руководил отделом информатики. Все это делалось и делается в рамках большой программы по модернизации не только компьютерной, но и вообще технической базы института при активном участии



«непременного ученого секретаря» (именно так называлась должность академика С. Ф. Ольденбурга в Императорской Российской академии наук).

Часто ли вы встречали человека, чей служебный рост после семидесяти лет продолжался? С Валентином Михайловичем произошло именно так. В новом веке число его «министерских портфелей» увеличилось. В 2006 г. он стал заместителем генерального директора СНИИГГиМС по экономике и финансам и оставался им до конца. При этом он являлся не просто ветераном, «аксакалом» и хранителем традиций (таких в институте достаточно было и есть кроме него). Он был и в последнее десятилетие своей жизни реальным, действующим эффективным менеджером. Без всяких кавычек. Не один из генеральных директоров института этого периода полностью полагался на него во многих вопросах повседневной жизни института.

Статус «большого начальника» не изменил отношения к Валентину Михайловичу в коллективе как к человеку. К нему шли не только по служебным, но и по личным делам. В этом качестве он являл собой воплощение спокойствия, доброжелательности и житейской мудрости. И был по-прежнему генератором общественных инициатив. Например, к 55-летнему юбилею института в 2012 г. он выдвинул идею учредить памятный знак СНИИГГиМСа в двух модификациях: заслуженного и почетного работника института для ветеранов (статус зависит

от того, работает еще человек в штате или уже на заслуженном отдыхе). В наше время, когда материальные поощрения для многих предпочтительнее моральных, особенно в глазах молодежи, такие инициативы заставляют вспомнить о традициях недавних не столь меркантильных времен. Сам Валентин Михайлович, разумеется, был в числе первых обладателей знака. Но у него есть награды и более высокого, отраслевого и правительственного уровня, в том числе медаль ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени.

Последние три года Валентину Михайловичу серьезно болел, перенес несколько тяжелых операций. Но при первой же возможности он решил вернуться к своим обязанностям в институте. Дважды в неделю он появлялся в своем кабинете, и поток посетителей через его приемную практически не прекращался. Кроме текущих забот, он держал в руках все нити подготовки к юбилею. Работал буквально до последнего дня. Еще третьего августа он был на рабочем месте в хорошем настроении, разговаривал с людьми.

На следующий день его не стало.

Не стало хорошего и нужного многим человека. Заменить его в полной мере практически невозможно. Остается надеяться, что новые научные менеджеры с пользой воспримут весь опыт общения с Валентином Михайловичем. Уверен – все, кто его знал, сохранят о нем самую светлую, самую добрую память.

*Ответственный редактор журнала
«Геология и МСР Сибири»
В. Ф. Свиньин*



НАШИ АВТОРЫ

- БАБИН Геннадий Алексеевич**, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург, Россия, зам. завотделом, к. г.-м. н. *E-mail: Gennadiy_Babin@vsegei.ru*
- БУДНИКОВ Игорь Васильевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, директор департамента, к. г.-м. н. *E-mail: budnikov@sniiggims.ru*
- ВАРЛАМОВ Алексей Иванович**, Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт (ВНИГНИ), Москва, Россия, генеральный директор, д. г.-м. н. *E-mail: sec@vnigni.ru*
- ВЕТРОВ Евгений Валерьевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, вед. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: vetrovggdnсу@yandex.ru*
- ГЕРТ Александр Андреевич**, Новосибирский филиал ВНИГНИ, Новосибирск, Россия, директор, д. э. н. *E-mail: nf@vnigni.ru*
- ДЕВЯТОВ Владимир Павлович**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, старший эксперт, д. г.-м. н. *E-mail: dvp@sniiggims.ru*
- ДОЛГУШИН Сергей Степанович**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, гл. науч. сотр., д. г.-м. н. *E-mail: dolgushin411@mail.ru*
- ДОРОГИНИЦКАЯ Лидия Михайловна**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия, вед. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: dlm1931@mail.ru*
- ЕФИМОВ Аркадий Сергеевич**, Сибирская геологическая ассоциация, директор, Новосибирск, Россия. *E-mail: sec@vnigni.ru*
- ЖАБИН Владимир Васильевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, вед. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: journal@sniiggims.ru*
- КОРНИЛОВ Михаил Владимирович**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, вед. инженер. *E-mail: journal@sniiggims.ru*
- ЛОСКУТОВ Илья Юрьевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, вед. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: losk@sniiggims.ru*
- ЛОСКУТОВ Юрий Иванович**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, гл. науч. сотр., д. геогр. н. *E-mail loskutov@sniiggims.ru*
- МАМАХАТОВА Рэста Тусунбековна**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия, ст. эксперт, к. э. н. *E-mail: kos@sniiggims.ru*
- МЕЛЬНИКОВ Павел Николаевич**, Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт (ВНИГНИ), Москва, Россия, замдиректора, к. г.-м. н. *E-mail: melnikov@vnigni.ru*
- МИШЕНИН Сергей Георгиевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, нач. отдела, к. г.-м. н. *E-mail: mishenin-sg@mail.ru*
- МОСЯГИН Евгений Вячеславович**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, завотделом. *E-mail: journal@sniiggims.ru*
- МУРЗИН Олег Владимирович**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, директор департамента. *E-mail: murzin@sniiggims.ru*
- РУДНИЦКАЯ Диамара Ивановна**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, вед. науч. сотр. *E-mail: journal@sniiggims.ru*
- САДУР Олег Гареевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, ст. науч. сотр. *E-mail: sadur.oleg@sniiggims.ru*
- САПЬЯНИК Виктор Васильевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, завотделом, к. г.-м. н. *E-mail: sapjanik@sniiggims.ru*
- СМИРНОВ Евгений Валерьевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, замдиректора, к. г.-м. н. *E-mail: smirnov@sniiggims.ru*
- СМИРНОВ Максим Юрьевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, исполнительный директор, к. г.-м. н. *E-mail: msmirnov@sniiggims.ru*
- СТАРОСЕЛЬЦЕВ Валерий Степанович**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, науч. руководитель, д. г.-м. н., проф. *E-mail: valerii.staroselcev@sniiggims.ru*
- СУХОВ Сергей Сергеевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, завлабораторией, к. г.-м. н. *E-mail: sukhov@sniiggims.ru*
- ТАЛИПОВ Ильшат Фаргатович**, Российский геологический холдинг «Росгеология», Москва, Россия, директор по геолого-разведочным работам на УВС. *E-mail: journal@sniiggims.ru*
- ФИЛАТОВ Владимир Викторович**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, гл. науч. сотр., д. ф.-м. н. *E-mail: filatov@sniiggims.ru*
- ЧЕРКАСОВ Геннадий Николаевич**, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, гл. науч. сотр., д. г.-м. н. *E-mail: cherkasov@sniiggims.ru*
- ЧЕРНЫХ Александр Иванович**, Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ), Москва, Россия, первый замдиректора, к. г.-м. н. *E-mail: chernykh@tsnigri.ru*



ШИГАНОВА Ольга Викторовна, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия, старший эксперт, к. г.- м. н. *E-mail: shiganova@sniiggims.ru*

ШИРОБОКОВ Алексей Юрьевич, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГТиМС), Новосибирск, Россия, нач. отдела. *E-mail: shiro@mail.ru*

ШОКАЛЬСКИЙ Сергей Павлович, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург, Россия, завотделом, к. г.-м. н. *E-mail: Sergey_Shokalsky@vsegei.ru*



OUR AUTHORS

- BABIN Gennady**, PhD, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI), St. Petersburg, Russia. E-mail: Gennadiy_Babin@vsegei.ru
- BUDNIKOV Igor**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: budnikov@sniiggims.ru
- CHEKASOV Gennady**, DSc, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: cherkasov@sniiggims.ru
- CHERNYKH Alexander**, PhD, Central Research Geological Institute of Non-Ferrous and Precious Metals (TsNIGRI), Moscow, Russia. E-mail: chernykh@tsnigri.ru
- DEVYATOV Vladimir**, DSc, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: dvp@sniiggims.ru
- DOLGUSHIN Sergei**, DSc, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: dolgushin411@mail.ru
- DOROGINITSKAYA Lidia**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: dlm1931@mail.ru
- EFIMOV Arkady**, Siberian Geological Association, Novosibirsk, Russia. E-mail: sec@vnigni.ru
- FILATOV Vladimir**, DSc, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: filatov@sniiggims.ru
- GERT Alexander**, DSc, Novosibirsk Branch of All-Russian Research Geological Oil Institute (VNIGNI), Novosibirsk, Russia. E-mail: nf@vnigni.ru
- KORNILOV Mikhail**, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: journal@sniiggims.ru
- LOSKUTOV Ilya**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: losk@sniiggims.ru
- LOSKUTOV Yuri**, DSc, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: loskutov@sniiggims.ru
- MAMAKHATOVA Resta**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: kos@sniiggims.ru
- MELNIKOV Pavel**, PhD, All-Russian Research Geological Oil Institute (VNIGNI), Moscow, Russia. E-mail: melnikov@vnigni.ru
- MISHENIN Sergei**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: mishenin-sg@mail.ru
- MOSYAGIN Evgeny**, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: journal@sniiggims.ru
- MURZIN Oleg**, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: murzin@sniiggims.ru
- RUDNITSKAYA Diamara**, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: journal@sniiggims.ru
- SADUR Oleg**, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: sadur.oleg@sniiggims.ru
- SAPYANIK Victor**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: sapjanik@sniiggims.ru
- SHIGANOVA Olga**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: shiganova@sniiggims.ru
- SHIROBOKOV Alexey**, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: shiro@mail.ru
- SHOKALSKY Sergey**, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI), St. Petersburg, Russia. E-mail: Sergey_Shokalsky@vsegei.ru
- SMIRNOV Evgeny**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: smirnov@sniiggims.ru
- SMIRNOV Maxim**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: msmirnov@sniiggims.ru
- STAROSELTSEV Valery**, DSc, Prof., Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: valerii.staroselcev@sniiggims.ru
- SUKHOV Sergei**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia. E-mail: sukhov@sniiggims.ru
- TALIPOV Ilshat**, ROSGEO State Geological Holding Company, Moscow, Russia. E-mail: journal@sniiggims.ru
- VARLAMOV Alexey**, DSc, All-Russian Research Geological Oil Institute (VNIGNI), Moscow, Russia. E-mail: sec@vnigni.ru
- VETROV Evgeny**, PhD Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. E-mail: vetrovggdsu@yandex.ru.
- ZHABIN Vladimir**, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia, Novosibirsk, Russia. E-mail: journal@sniiggims.ru

Подписано в печать 20.10.17. Формат 60×84/8. Бумага офсетная 80 г/м². Печать цифровая.
Тираж 100 экз. Гарнитура Calibri. Объем 22,3 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