ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ СИБИРИ

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 1(41) ♦ 2020 Январь – март

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

Содержание

ISSN 2078-0575

Geology and mineral resources of Siberia

GEOLOGY AND MINERAL RESOURCES OF SIBERIA

QUARTERLY SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

N1(41)♦2020 January – March

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

Content

ISSN 2078-0575

К 10-ЛЕТИЮ ЖУРНАЛА «ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ СИБИРИ»

TO THE 10th ANNIVERSARY OF THE JOURNAL «GEOLOGY AND MINERAL RESOURCES OF SIBERIA»

Дорогие коллеги!

Ровно 10 лет назад вышел первый номер нашего журнала. Обстоятельства сложились так, что, работая в то время в СНИИГГиМСе, я был одним из инициаторов его учреждения, неизменно входил (и вхожу) в редакционную коллегию, а в 2016–2019 гг. был его главным редактором. Поэтому вся история его десятилетнего существования проходила у меня на глазах. И я могу засвидетельствовать, что те идеи и замыслы, которыми руководствовались учредители, в значительной степени реализованы. Журнал, безусловно, состоялся и успешно выполняет ту функцию, ради которой был создан.

С самого начала журнал планировался как издание, освещающее не только сугубо научные, но и текущие практические проблемы сибирской геологии и геологоразведки. Это позволило привлечь к сотрудничеству широкий круг специалистов различных ведомств и организаций: академических, учебных, производственных, отраслевых НИИ. Тематика журнала охватывает все аспекты изучения, освоения и охраны недр Сибири. За 2010–2019 гг. было издано 40 регулярных (около 500 статей, более 600 авторов) и 7 специальных выпусков журнала. Высокий научный уровень публикаций обеспечивается авторитетным составом редколлегии, куда входят виднейшие сибирские (и не только) ученые-геологи. В редколлегии также представлены специалисты-геологи из всех крупных регионов Сибири, в том числе руководители государственных органов управления недропользованием.

То, что журнал стал востребованным в геологическом сообществе России и за ее пределами, подтверждается следующими фактами: уже в 2012 г. он вошел в известный всем перечень ВАК, еще через два года – в международную базу GeoRef, а начиная с 2019 г. статьи журнала реферируются в крупнейшей РБД Scopus. Пользуется популярностью и сайт журнала, где доступны аннотации (а с годовой отсрочкой – и полные тексты) статей, – до 100 ежедневных посещений.

Все это дает мне возможность поздравить всех нас: редколлегию и редакцию, авторов, рецензентов и, разумеется, читателей журнала «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири» – с первым, пусть скромным юбилеем.

А. И. Варламов

№ 1(41) ♦ 2020

УДК 553.3/.9:(504.4:551.791)(5)

ВЛИЯНИЕ КАТАСТРОФ ПОЗДНЕГО НЕОПЛЕЙСТОЦЕНА АЗИИ НА ПРИРОДНО-РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ОТДЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ

Н. А. Бакшеев[1], М. В. Кириллов[2], А. А. Стамберский[1]

[1]Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия; [2]Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия

Согласно современным гипотезам формирование морских поздненеоплейстоценовых отложений на территории Азии происходило вблизи границы с океанами, а аквальных осадков – на континенте в озерных бассейнах. Но при сопоставлении состава отложений и их строения по опубликованным и авторским материалам выяснено, что поздненеоплейстоценовые отложения континента имеют признаки, характерные для осадков с катастрофическим накоплением, образующихся в настоящее время в дельтах рек Инд, Ганг, Брахмапутра, Хуанхэ, Янцзы и др. Приведенные данные позволили провести реконструкцию предполагаемых событий за последние 50 тыс. лет, дать приблизительный прогноз событий будущего и определить возможные риски для населения с учетом истощения минерально-сырьевых ресурсов.

***Ключевые слова**: поздненеоплейстоценовые отложения, Азия, конкреции, мшанки, горизонты-маркеры, реконструкция, лессы, золото, цикл, катастрофа, трансгрессии.*

INFLUENCE OF LATE PLEISTOCENE CATASTROPHES IN ASIA ON NATURAL-RESOURCE POTENTIAL OF INDIVIDUAL REGIONS

N. A. Baksheev[1], M. V. Kirillov[2], A. A. Stamberskiy[1]

[1]Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia; [2]V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy of SB RAS, Novosibirsk, Russia

According to modern hypotheses, the formation of marine Late-Pleistocene sediments in Asia occurred near the border with oceans, and aquatic sediments were formed on the continent in lake basins. But when comparing the composition of sediments and their structure in keeping with published materials, Late Neo-Pleistocene deposits of the continent show signs characteristic of sediments with a catastrophic accumulation that is currently being formed in estuaries of the Indus, Ganges, Brahmaputra, Huang He, Yangtze Rivers et al. Data presented in the article made it possible to reconstruct probable events in Asia over the past 50 thousand years, with some elements of their prediction in the future and to identify possible risks for the population living, taking into account the depletion of mineral resources.

***Keywords:** Late Neo-Pleistocene sediments, Asia, nodules, bryozoans, horizon markers, reconstruction, loesses, gold, cycle, catastrophe, transgressions.*

DOI 10.20403/2078-0575-2020-1-4-19

По современным представлениям, в северной части Азии поздненеоплейстоценовые осадки представлены в основном морскими, ледниково-морскими и озерными отложениями, в южной части – лессовыми, озерно-эоловыми и подпрудно-озерными. Считается, что различия в составе отложений обусловлены тем, что после неоген-палеогенового моря во внутренних частях Азии среди поздненеоплейстоценовых отложений преобладают осадки континентального генезиса, а встречающиеся аквальные образования сформированы в локальных озерных системах.

Однако анализ имеющихся у авторов и опубликованных в последнее время материалов [1, 14, 16, 17] позволяет обосновать предположение, что поздненеоплейстоценовые образования сформировались в результате нескольких трансгрессий и регрессий, вызванных кратковременными катастрофическими поднятиями одних блоков и опусканием (с затоплением) других. Это сопровождалось соответственно размывом и накоплением осадков разной мощности. Из сформированных осадочных отложений максимально информативны осадки близкого состава, образованные в одно время и в одинаковых условиях, так как в них присутствуют горизонты-маркеры, содержащие скопления карбонатных конкреций – скелетов колоний мшанок, костей ископаемых животных, прослоев палеопочв одного возраста. Иногда эти горизонты наблюдаются в виде отдельных линз, гнезд и пластов небольшой мощности.

Результаты исследований

Поздненеоплейстоценовые отложения Азии в основном слагают верхнюю часть большинства крупных мезозой-кайнозойских впадин, отмечаются в предгорной и низкогорной частях горных систем, а также на поднятиях в виде чехла, перекрывающего нижележащие отложения (рис. 1). На некоторых участках [1] в строении осадочных толщ можно выделить ритмичность (3–4 ритма) с двумя различающимися пачками. *Нижняя* пачка каждого ритма сложена грубообломочными аллювиальными, делювиально-аллювиальными отложениями и сформирована при активном размыве, распространена локально. *Верхняя* пачка тонкообломочная, пред-

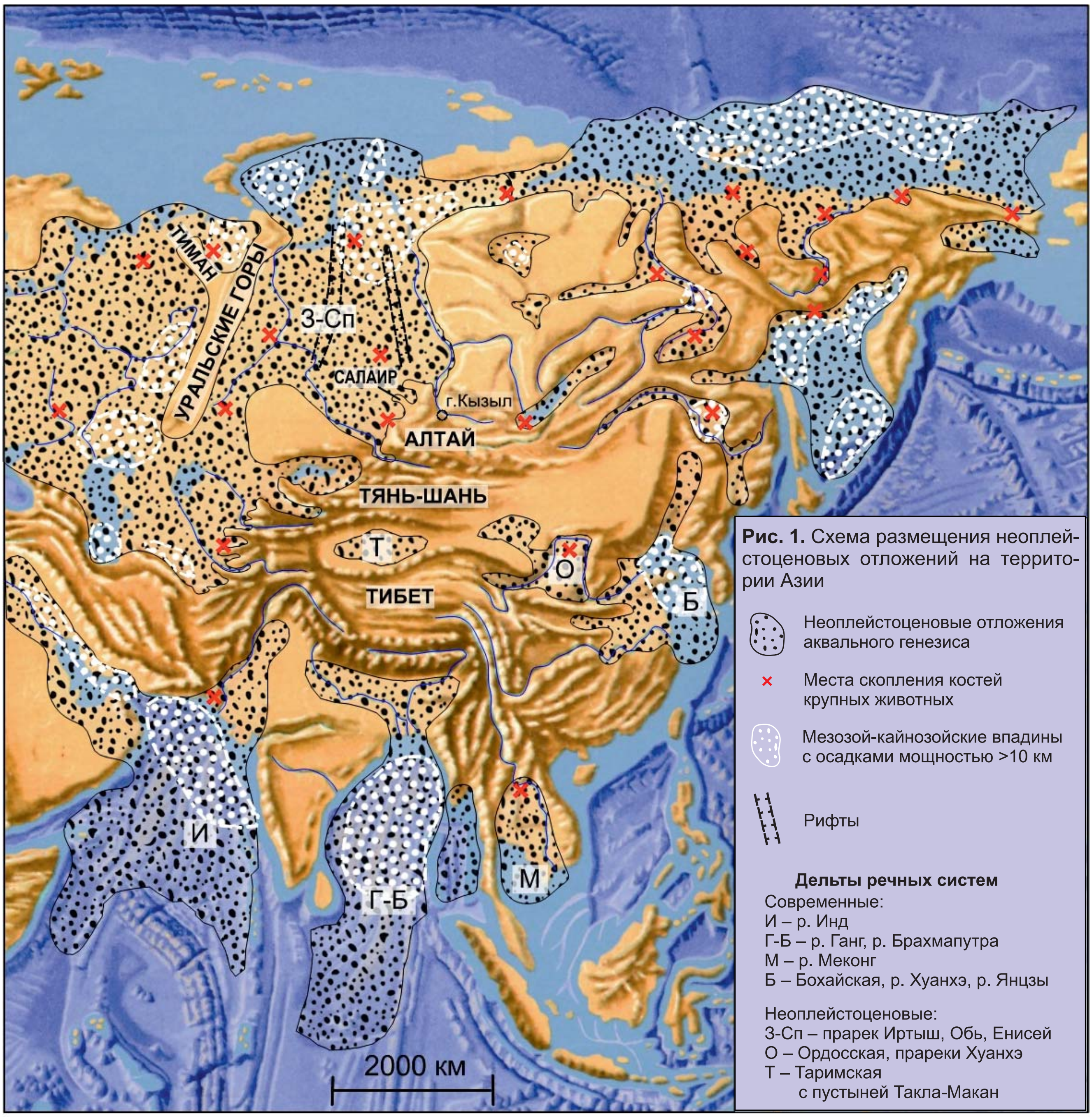


Рис. 1. Схема размещения неоплейстоценовых отложений на территории Азии

ставлена преимущественно суглинками и глинами, иногда с дресвяно-песчанистыми прослоями и линзами. Нередко отмечаются карбонатные, железо-фосфат-карбонатные конкреции и горизонты палеопочв, в районе поднятий – обломки древесины. Кроме того, местами, ближе к подошве этой пачки встречаются линзовидные скопления или линзы, состоящие из остатков насекомых, костей наземных и водных организмов, иногда наблюдаются кости древнего человека и кремневые изделия.

Карбонатные конкреции (от мелких до крупных, диаметром до десятков сантиметров, разнообразной формы) найдены практически во всех горизонтах; иногда они образуют пласты. В большинстве случаев их относят к конкрециям, сформированным либо в процессе диагенеза осадков чисто химическим путем, либо биогенным способом за счет деятельности микроорганизмов в почвах, либо в результате минерализации органических остатков. Вместе с тем сравнительный анализ внешних форм и строения исследуемых конкреций из поздненеоплейстоценовых отложений Салаира и известных форм скелетов колоний мшанок [4, 18] позволяет говорить о высокой степени их морфологического сходства (рис. 2, 3). Конкреции местами отмечаются на всех гипсометрических уровнях Салаирского кряжа и Предалтайской равнины. В качестве примера можно привести фосфат-железо-карбонатные трубчатые формы из разрезов верхней пачки последнего ритма со значительными (до 7–10 шт. на 1 дм^2) скоплениями, а также с единичными экземплярами размером в поперечнике до 4–10 см (у подошвы пласта) и до 2–3 мм в верхней его части; длина расположенных вертикально трубочек до

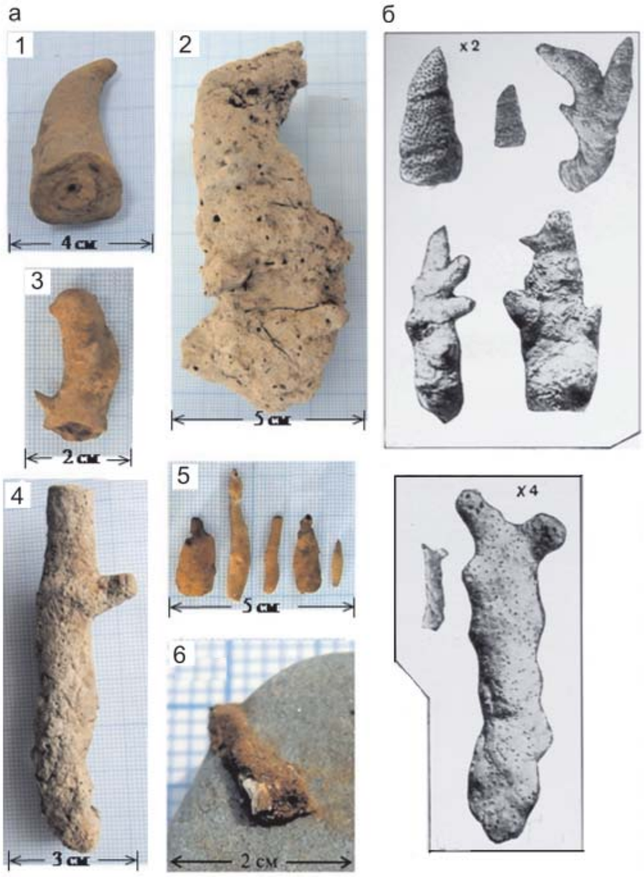


Рис. 2. Сопоставление морфологии колоний мшанок: а – Салаирского кряжа (фиг. 1–6, поздний неоплейстоцен, кайнозой); б – центральных областей европейской части РФ (мезозой) [18]

2 м. В сечении такие пустотелые цилиндрические конкреции нередко имеют внешний и внутренний железо-фосфатный ободок толщиной 0,1–0,2 мм с поперечными перегородками. Внутренние стенки трубки неровные, с почковидными выступами. В каркасных кальцитовых конкрециях обнаружены винтовые спиральные формы мшанок рода *Arhimedes* с кальцифицированными ветвями (рис. 4). Установлено, что подобные формы характерны для зооидов морских мшанок [3].

В Кузнецком Алатау на водоразделах и в долинах рек Каз, Кабурчак на отметках 300–450 м в суглинках подошвы еловской свиты обнаружены столоновые колонии мшанок (рис. 5), аналогичные современным, обитающим в Белом море [4]. Эти данные позволяют отнести выделенные ранее диагенетические конкреции к ископаемым скелетам колоний мшанок, которые формируются в водной среде. Для современных колоний характерны разнообразные формы: массивная, пластинчатая, ветвистая, цилиндрическая, сетчатая, листообразная и др. Часто они образуют мшанковые известняки и рифы на глубине 30–70 м.

Карбонатные конкреции обычно находятся в суглинистых горизонтах неоплейстоцена с повышенной карбонатностью, железо-марганцевые чаще приурочены к горизонтам с аномальными концентрации железа. Например, в разрезах Печорской низменности первые приурочены к алевритовым горизонтам, а вторые – к пескам и галечникам плейстоценового возраста, образованным на

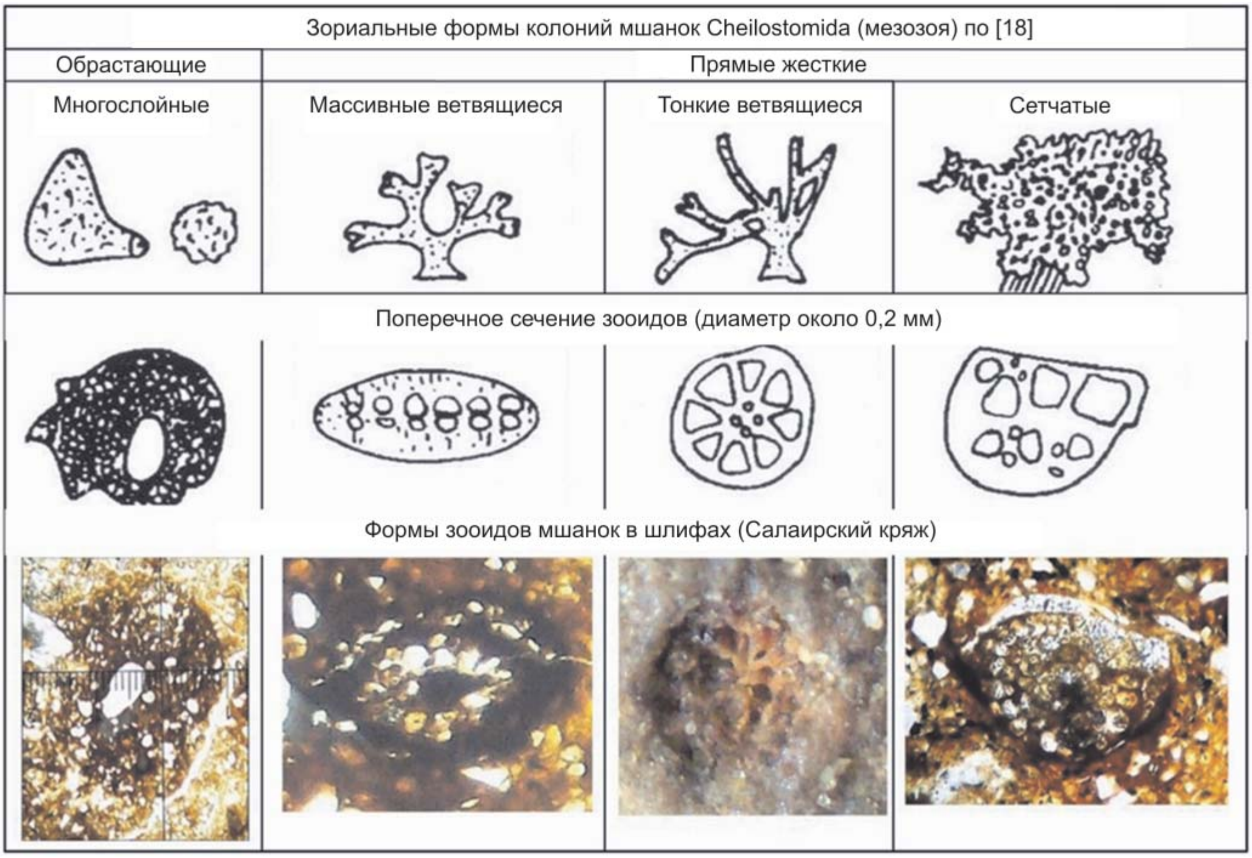


Рис. 3. Формы зооидов исследуемых салаирских и эталонных мезозойских мшанок

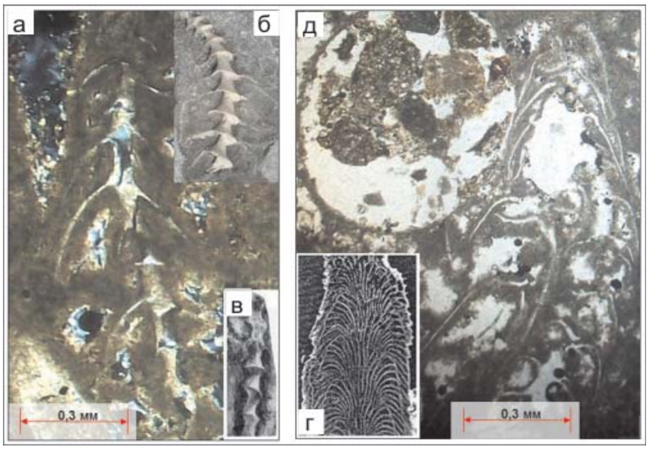


Рис. 4. Фрагмент спиральной колонии рода *Arhimedes* (четвертичный период, поздний плейстоцен; а, д – р. Большая Еловка) и эталонных [3] (б – нижняя пермь, р. Печора, в – средний карбон, р. Пинега, г – средняя юра, Франция)

морском дне, с общей мощностью осадков не меньше 100 м [5]. В верхней части разреза в глинах под торфами находятся трубчатые стяжения лимонита древовидной формы с концентрическим строением в поперечном срезе.

Железо-фосфатно-карбонатные конкреции в виде трубочек были найдены на гальке, в кровле аллювиального золотоносного горизонта, в перекрывающих синих глинах западного борта Печорского нефтегазового бассейна (в приосевой части Тиманского кряжа на р. Кыввож). Они изучены в речном обрыве Илийской предгорной мезозойско-кайнозойской впадины, расположенной с северной стороны Тянь-Шаньского хребта, где имеют разнообразную форму и состав. Здесь в лессовых суглинках на глубине 5 м от поверхности выделяется горизонт мощностью 1,5 м с карбонатными, фосфат-железо-карбонатными конкрециями массивной и трубчатой форм [1]. Горизонт подстилается пачкой аллювиальных хорошо промытых песков и галечников, сменяемых ниже к урезу воды сине-сизыми глинами.

В. А. Обручевым описаны близкие по форме конкреции из отложений плейстоцена Северного Китая. По примеси в составе суглинков карбоната (до 10–15 %) и высокой пористости (44–46 %) они относятся к лессам и лессовым породам, обнажающимся во врезах дорог, карьеров, в речных обрывах мезозой-кайнозойских впадин Сунляо, Ордос и др.

Отложения Ордосской впадины состоят из трех толщ разного цвета (красного, желтого и серо-желтого [12]) и содержат до 17–20 горизонтов палеопочв, а также, кроме того, местами обломки костей носорогов, мамонтов, оленей, лошадей и других животных. В отложениях всех толщ встречаются карбонатные конкреции, иногда сцементированные в твердые известковистые пласты (рис. 6). В отдельных участках карбонатные конкреции «подобны журавчикам лесса, причем длинная ось конкреций

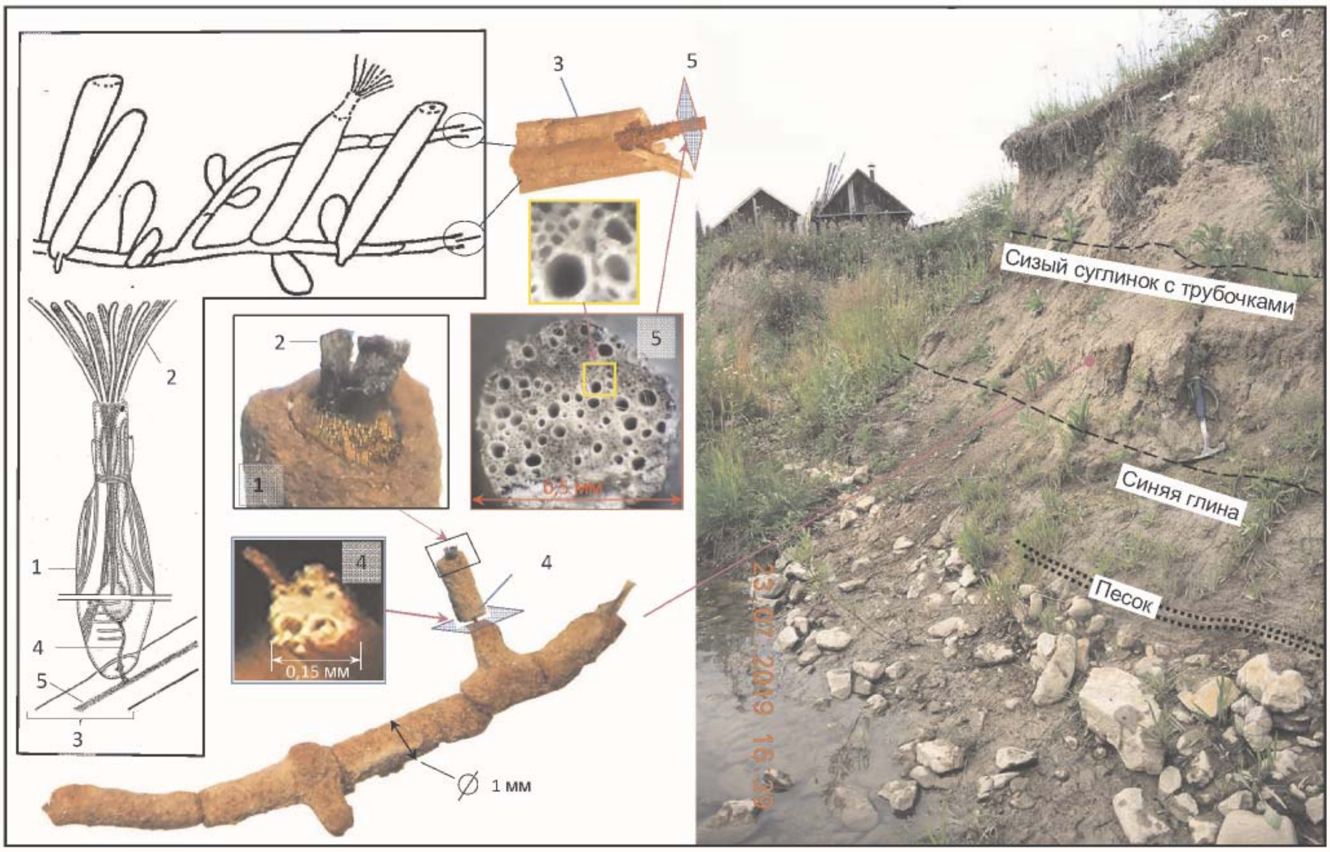


Рис. 5. Форма колоний мшанок позднего неоплейстоцена еловской свиты (Кузнецкий Алатау, правый борт р. Кабурчак, окраина пос. Кондома) и современных мшанок отряда Stenostomata из Белого моря по [4] (врезка)

1 – зооеций, 2 – щупальца, 3 – столон, 4 – фуникулюс зооеция, 5 – фуникулюс столона

вертикальна… иногда разрастаются в неправильно ветвистые тела» [12]. Часто встречаются остатки пресноводных раковин, лягушек, костей рыб, что свидетельствует об образовании осадков в водной среде. В верхней толще обнаружены палеолитические изделия из кварцита. Для лессовых отложений Ордосского плато характерно зональное размещение: с увеличением их мощности уменьшаются количество почвенных горизонтов и мощность грубообломочных пачек, что связано с удаленностью от краевых частей поднятий [13]. В неоплейстоценовых отложениях северной части Азии, как и южной, кроме почвенно-растительных горизонтов и карбонатных железо-марганцевых «конкреций», встречаются **кости крупных млекопитающих**, характерных для обитателей равнин. Например, в центральной

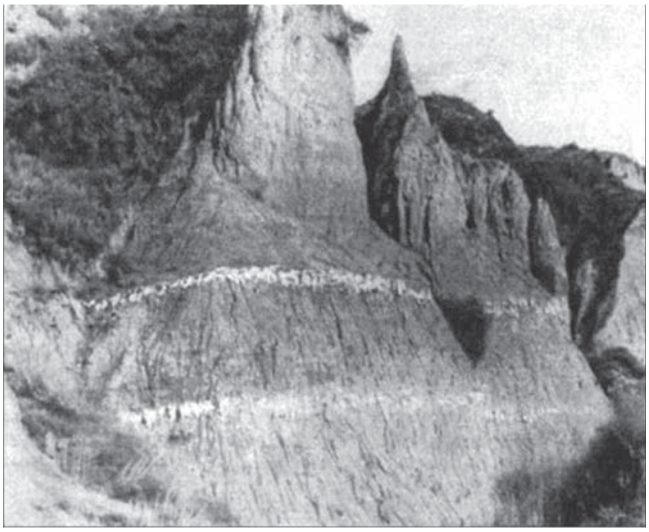


Рис. 6. Прослои (светлое) известковых конкреций в толще красных и желтых лессов Ордосская впадина, Северный Китай (по В. Н. Павлинову, 1959)

части Западно-Сибирской плиты (ЗСП) по результатам полувековых археологических исследований «Волчьей гривы» в синих лессовидных глинах выявлены три костеносных горизонта с установленным возрастом 10–13,5, 15–18 и 18–26 тыс. лет соответственно, содержащих прижизненные остатки костей мамонтов, бизонов, лошадей, волков и других животных [6]. Большая часть исследователей, изучающих подобные места, связывает гибель животных с установлением влажного климата из-за поднятия уровня воды. В обрывах долин рек, размывающих эти отложения, нередко наблюдаются почвенно-растительные горизонты с древесными остатками болотной растительности, шишек, веток, стволов деревьев, иногда обугленных, с фрагментами насекомых, раковин, гастропод, пелеципод и костей мелких птиц. Мощность поздненеоплейстоценовых отложений, вмещающих горизонты-маркеры, в бортовой части поднятий составляет от первых до 20–30 м, а в понижениях и впадинах – до 100 м и более. Для них характерны те же признаки, что и для отложений южной части Азии. Но есть и отличие: из-за значительной обводненности в северной половине Азии (где болота присутствуют и на водоразделах кряжей) больше распространены серо-сизые отложения с сероводородным запахом. В бортах старательских отработок на поверхности через несколько дней после высыхания цвет породы изменяется с сизого на серый, пепельно-серый. В этих отложениях находятся тонкие (диаметром 0,1–0,2 мм) прерывистые стебли длиной первые сантиметры, похожие на водоросли и столоны мшанок (рис. 7). На р. Листвянка в горизонте сине-сизых суглинков, залегающем на песчано-глинисто-щебнистых золотосодержащих отложениях с фоссилизированными костями мамонтов, бизонов (рис. 8), носорогов, от-

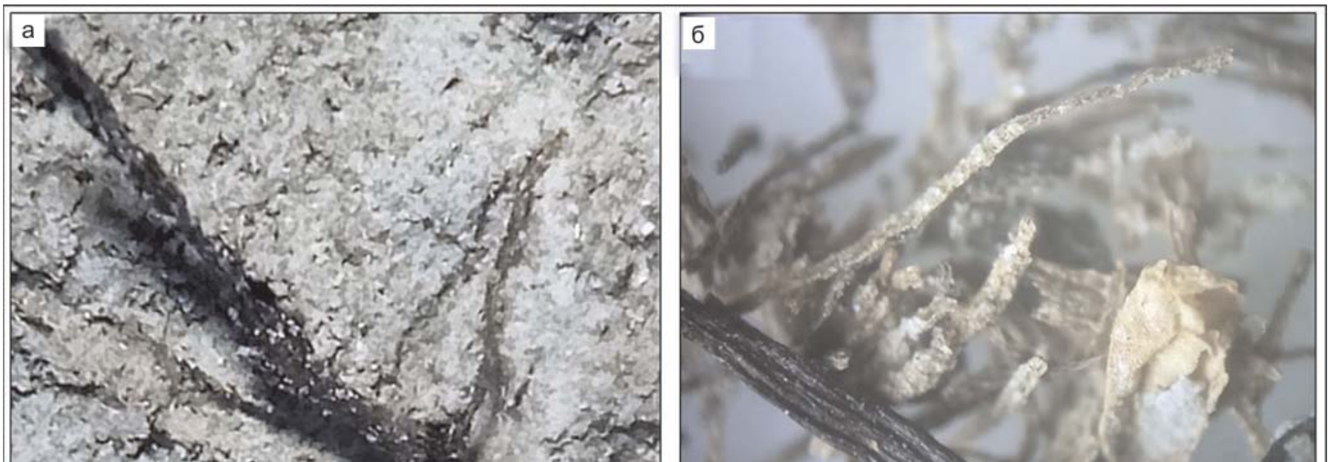


Рис. 7. Фоссилизированный детрит на глубине 7–8 м: а – в сизых суглинках; б – из промытого материала объемом 30 см^3 (россыпь золота на р. Листвянка, Салаир)

Рис. 8. Фрагмент минерализованной нижней челюсти бизона в кровле золотоносных щебеночно-глинистых отложений (россыпь золота на р. Листвянка, Салаир)

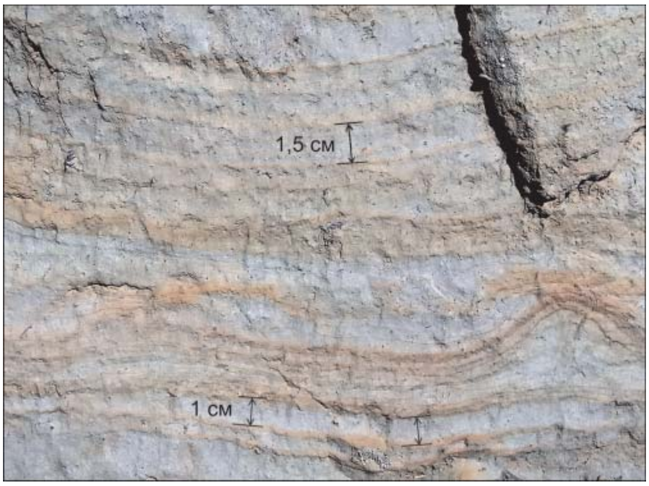


Рис. 9. Слойки с лимонитовой пропиткой в сизых суглинках (илах), характеризующие смену летне-зимних сезонов (забой старательской отработки, россыпь на р. Листвянка, глубина около 10 м)

мечается мелкая слоистость, обусловленная чередованием бурых слойков с лимонитовой пропиткой (мощность 1–5 мм) и светлых без таковой (мощность до 1–10 см) (рис. 9).

Наличие прослоев с разными концентрациями оксидного железа, по-видимому, связано с сезонными периодами накопления осадков: с уменьшением мощности осадков в зимнее время увеличивается железистость, а с увеличением количества пресной воды в летнее время увеличивается количество осадков и уменьшается концентрация железа. В настоящее время близкие скорости накопления установлены в дельте р. Янцзы в Бохайском заливе Желтого моря, с отложением осадков в ее устье до 5280 см за 1000 лет, или 5,2 см в год. При сохранении такой скорости накопления неоплейстоценовые осадки на ЗСП мощностью 30–100 м могли образоваться примерно за 1000–2000 лет. Аналогия отмечается также при сравнении площади дельты рек Ганг и Брахмапутра (1000×3000 км) и объема отложений осадочного чехла (5 млн км^3) с этими характеристиками для ЗСП ((800–1900) × 2500 км и 3,5 млн км^3) [10, 11], а также глубины залегания мезозой-кайнозойских осадков обоих регионов (до 15 км на отдельных участках). Приведенные данные свидетельствуют о том, что территория ЗСП в позднем неоплейстоцене была дельтой стока рек, сносивших осадки с разрушающихся Алтае-Саянской и Памиро-Тянь-Шаньской горных систем.

Обсуждение результатов

Образование и последующее изменение осадков рассматриваемого времени, однотипность их строения и состава, отмечаемые на больших территориях, связаны с общепланетарными катастрофическими событиями, которые происходили с определенной последовательностью и сопровождались перемещением значительных объемов разрушенных пород с поднятий во впадины.

Можно предположить, что на начальном этапе снос происходил с приподнятых участков, поверхность которых была покрыта глинистыми продуктами выветрелых пород. В этот период на поднятиях и их краевых частях формировались отложения с преобладанием обломочного материала разного генезиса (аллювиального, пролювиального, делювиального, селевых потоков и пр.). Во впадинах, прилегающих к этим поднятиям, и в прибрежной части моря накапливались осадки тонкой и мелкой фракций с максимальным объемом в дельтовой части крупных рек.

В настоящее время такие осадки формируются в дельтах рек Ганг, Брахмапутра, Миссисипи, Амазонка, Хуанхэ, Янцзы и др. [10, 11]. Отложения илов в заливе Бохай (Желтое море), привносимых в том числе из участков, сложенных лессами, вызывали рост дельты р. Хуанхэ и способствовали ее повышению и перемещению в залив на растояние до 800 км за последние 4 тыс. лет [15]. По [11, 15] в устье этих рек происходит не только выпадение органического вещества из речной взвеси, но и массовый перевод органики из растворенных форм во взвесь путем коагуляции и сорбции; также наблюдается максимум продуцирования свежей органики фитопланктоном. Кроме того, в мелководных участках отмечаются покрытые растительностью многочисленные острова с почвенно-растительным слоем, который превращается в палеопочвы при их погребении илами. В работе [15] показано, что в мезозой-кайнозойских осадках многих впадин Китая (мощностью несколько км) отмечаются высокие концентрации органического вещества, а отдельные горизонты содержат промышленные скопления угля, нефти и газа. Например, нефтегазовые месторождения Бохайского залива приурочены к отложениям как осадочного чехла, так и складчатого основания от рифея до палеогена включительно.

Одним из возможных механизмов ритмичного формирования осадков предположительно является прецессионный цикл Земли с периодом 25,92 тыс. лет, когда каждые 12,96 тыс. лет происходят катастрофические события длительностью примерно 2–3 тыс. лет, которые приводят к изменению рельефа поверхности, уничтожению некоторых форм фауны и флоры и появлению новых. Такими событиями, восстанавливаемыми по данным изучения осадочных отложений, являются трансгрессии и регрессии.

В каждом ритме этот катастрофический период фиксируется горизонтами-маркерами, которые свидетельствуют о **трансгрессиях**, сформированных в результате бурного развития разных форм жизни водных микроорганизмов (колоний мшанок, бактерий, водорослей и др.) и гибели тех, которые обитают на суше. Отмеченное В. А. Обручевым наличие на участках скопления костей карбонатных «конкреций» разной формы, в том числе в виде мелких оолитов, можно объяснить фоссилизацией в осадках большого количества органики (остракод, фораминифер, колоний мшанок). Местами они отмечаются в виде кальцитовых, доломитовых, фосфатных, бокситовых, лимонитовых, железо-марганцевых и других конкреций, часто формирующих горизонты с преобладанием в составе одного-двух химических элементов в количествах, иногда достигающих промышленных масштабов.

В это время на поднятиях формировались осадки континентального типа с месторождениями самородного золота, платины, минералов титана и др. Наиболее интенсивно шло разрушение с выносом мелких частиц из коренных пород, подверженных выветриванию. По разломам из глубины к поверхности в наиболее ослабленных местах поступали газово-водные флюиды, содержащие Au, Fe, P, метан, сероводород и т. д. В результате их излияния в зонах разломов глубинного заложения в прибрежной части водного бассейна шло гидротермально-биогенное преобразование ранее выветрелых, в первую очередь гидротермально-измененных, пород с сульфидами, карбонатами, полевыми шпатами, гидрослюдами и другими минералами, затем превращавшихся в глины, содержащие Fe-Mn, бокситовые и другие конкреции биогенного происхождения. Например, на Салаире они встречаются как в золоторудной коре выветривания, так и в перекрывающих отложениях краснодубровской свиты, сформированных на дне водоема. Возраст отложений, вмещающих такие конкреции, по данным радиоуглеродного датирования остатков обуглероженной древесины составляет 33 тыс. лет. Биогенная природа оолитовых конкреций доказана наличием бактериоморфных и некристалломорфных структур, установленных с помощью электронного микроскопа. Они аналогичны эталонным [8]. Размеры оолитовых конкреций от миллиметров до первых сантиметров (обычно в пределах 1 см), разнообразной формы, с внутренней оолитовой структурой (рис. 10). Присутствие оолитов обусловлено фоссилизацией остракод, фораминифер, планктона, инфузорий с сохранением их прижизненных форм. Так, при изучении с помощью электронного микроскопа состава карбонатных конкреций из оз. Чаны выявлено, что ядро оолитов, расположенных непосредственно у звена Cu-Zn цепочки, содержит большое количество медных, цинковых и карбонатных минералов, а чередующиеся слои оболочки состоят преимущественно из куприта, смитсонита и карбонатов (рис. 11). В оолитах, находящихся на удалении несколько миллиметров от края звена, концентрации металлов резко уменьшаются, а в составе преобладают карбонаты. Это явно связано с тем, что предполагаемое звено Cu-Zn цепочки (из латуни) попало в биогенную матрицу и было преобразовано в ней микроорганизмами до их окаменения

В другом случае на поверхности карбонатного нароста с нитчатыми биоморфными выделениями, сформированного на окатанной золотине из щебнисто-глинистого эксплуатационного горизонта (россыпь на р. Листвянка, Салаир), отмечаются включения самородного золота размером значительно меньше 1 мкм (рис. 12). Также к биогенному типу относится золото без примесей и интерметаллиды Au-Sn-Pb, отмечаемые в виде наростов на самородном свинце и на фоссилизированном Fe-Mn карбонатном сфероиде (рис. 13). Приведенные примеры позволяют утверждать, что оолитовые конкреции (железо-марганцевые, бокситовые, карбонатные), содержащие золото и другие металлы, образованы в водной среде, обогащенной этими металлами. Часть металлов была привнесена по разломам гидротермальными газово-водными флюидами. Одним из признаков наличия гидротермальных растворов является присутствие в измененных ко-

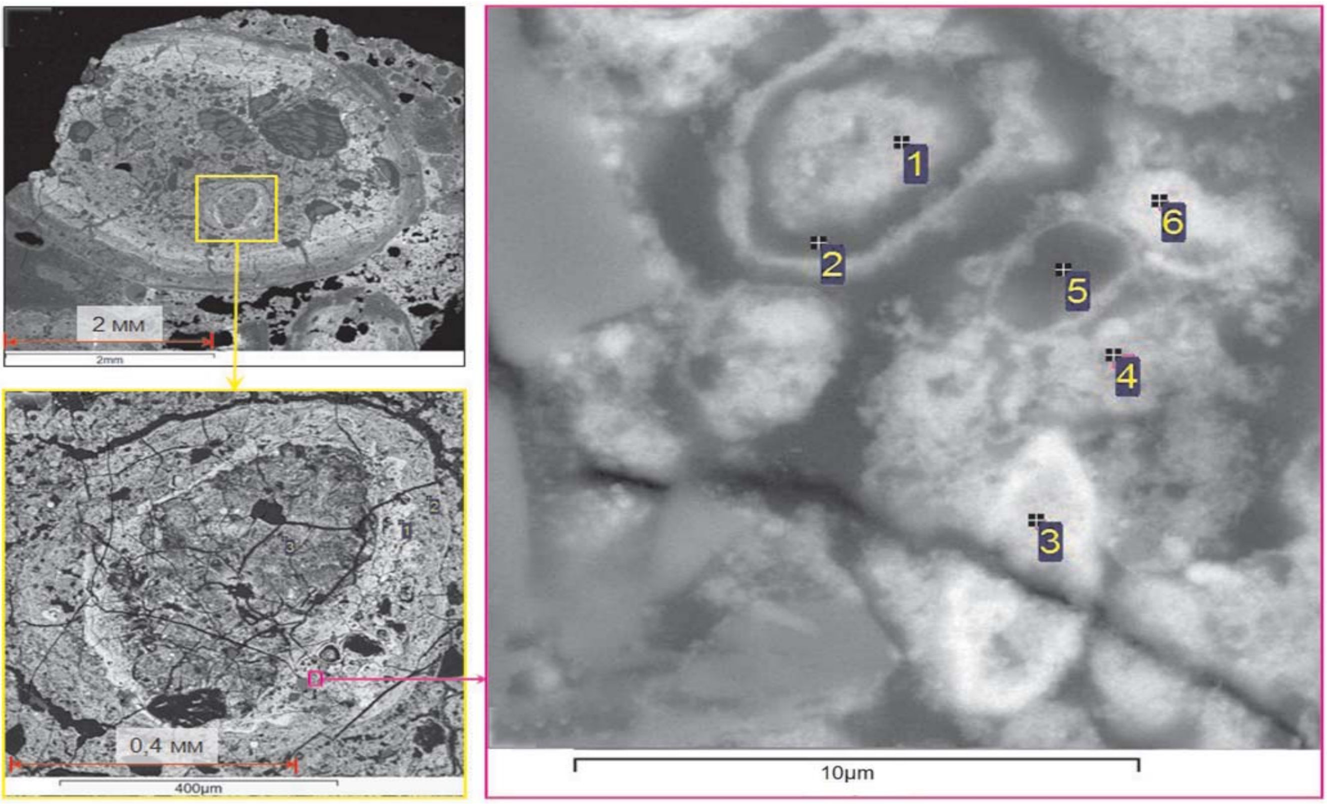


Рис. 10. Оолиты в бокситах (Салаир). Фотографии со сканирующего электронного микроскопа. Полированный шлиф Химический состав в точках 1–6, %: Fe 21,2–54; Al 7–19,9; Si 1,2–2,6; Ti 0,3–2,7; Ca 0,3–0,5; P 0,3–0,4; O 21,1–39,5

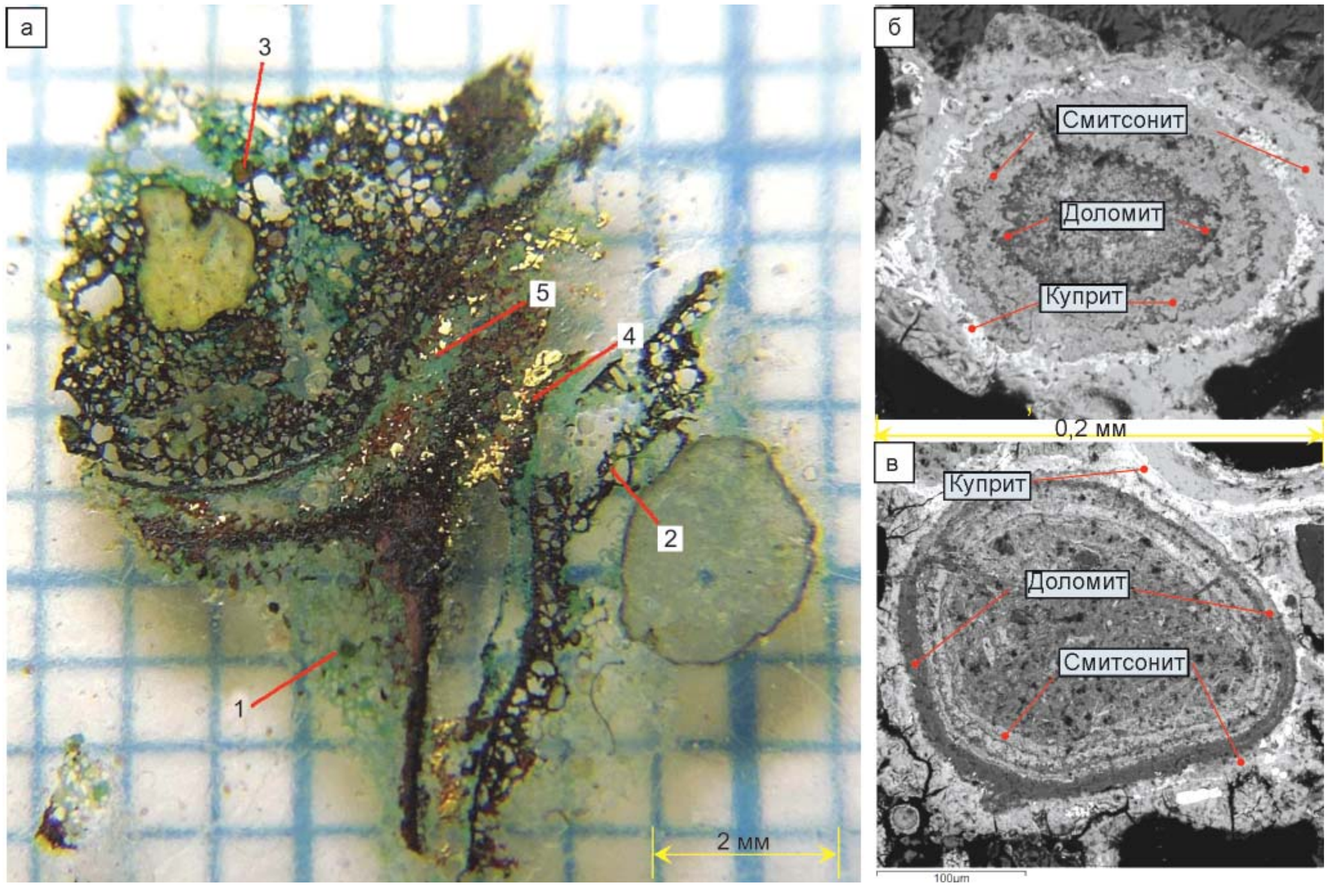


Рис. 11. Карбонатная конкреция по биогенному мату (Юдинский плес, оз. Чаны, полированный шлиф: а – реликты звена латунной цепочки (4, 5), с фоссилиями по микроорганизмам (1–3, б, в); б, в – с чередующимися слоями, состоящими из куприта, смитсонита и карбонатов

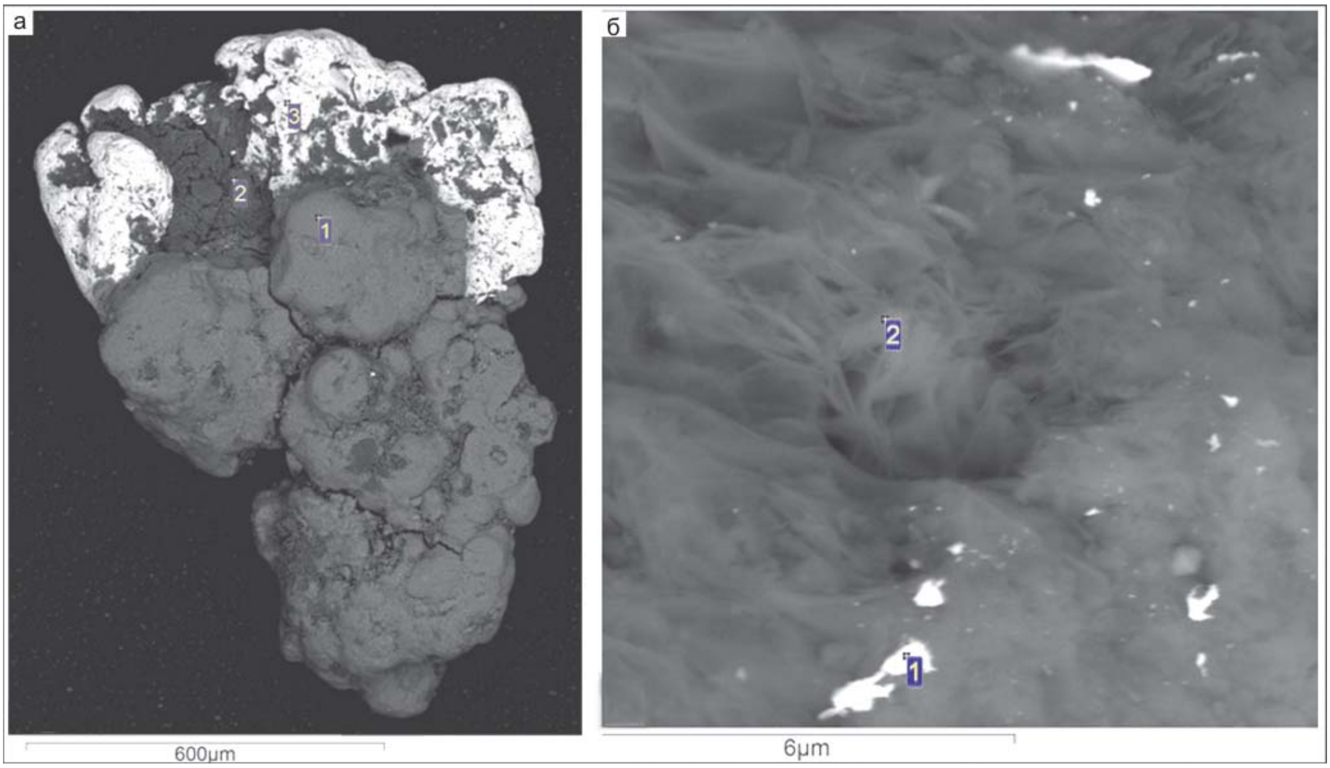


Рис. 12. Карбонатный нарост (а-1) на золотине (а-2), в основной массе в нитчатых биоморфных выделениях (б-2), частицы самородного золота (б-1). Салаир

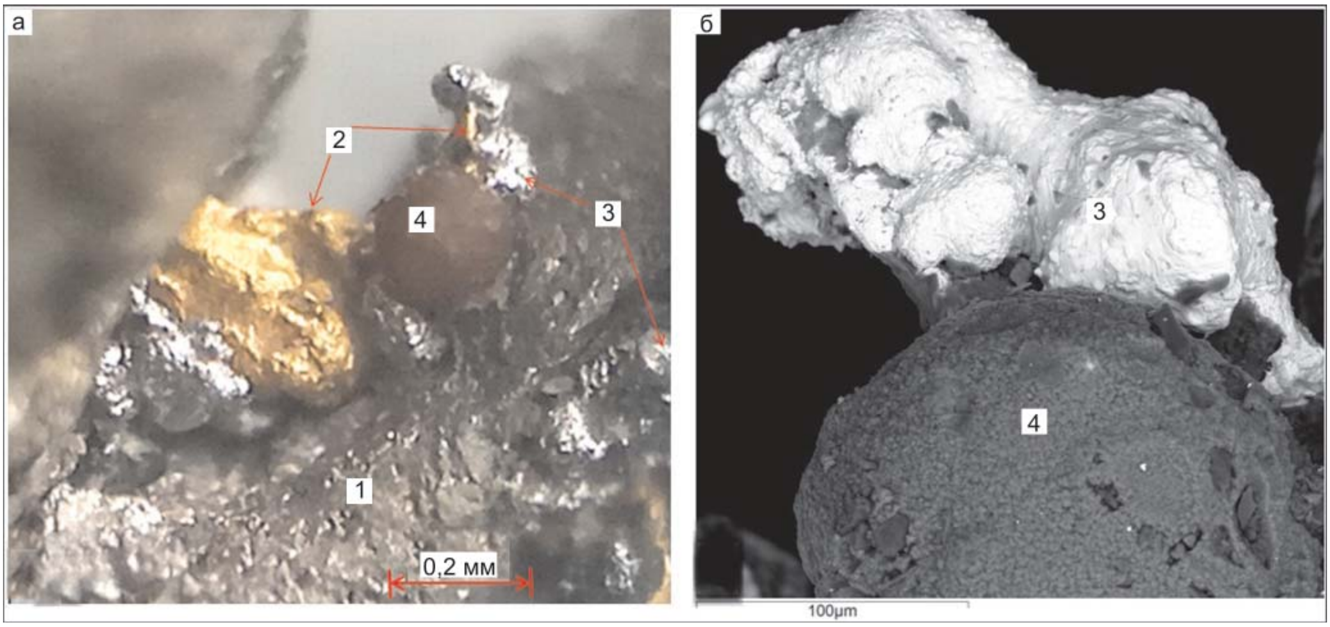


Рис. 13. Самородный свинец (а-1), на нем биогенные наросты золота (а-2), интерметаллиды Au-Pb-Sn (а-3) и Mn-Fe карбонатный сферолит с примесью Al, Si, P, S (а-4); этот же сферолит под электронным микроскопом с другой стороны (б-4) с наростами интерметаллидов Au-Pb-Sn (б-3) (россыпь на р. Листвянка, Салаир)

ренных породах под глинистыми продуктами коры выветривания трещин мощностью до 10 см, залеченных гетит-гидрогетитовыми, кварц-гетитовыми жилами с отчетливо зональной и брекчиевой текстурой, которые, возможно, являлись подводящими каналами для металлоносных флюидов. Например, гетитовые конкреции с обломками кварца из глинистой коры карьера Белоключевского месторождения и из жильной кварц-гетитовой брекчии его борта содержат высоко аномальные концентрации Au, Ag, Pb, Ba, As, Se, I, Cl. В основном описываемые конкреции приурочены к глинистым свитам аквального генезиса (кочковской, краснодубровской), в подошве которых находятся обломки, щебень пород плотика, в том числе продукты золотоносной коры выветривания. Они же отмечаются в долинных аллювиальных отложениях, с которыми связана значительная часть добытого россыпного золота. Подобные горизонты с металлоносными фоссилиями, образованные в аквальных условиях, нередко представляют собой горизонты-маркеры со скоплениями Fe, Mn, P вплоть до промышленных масштабов [8].

В период **регрессии** с возрастанием тектонической активности на поднятиях усиливается водная эрозия, ведущая к дальнейшему размыву речных долин и образованию новых. Она вызвана ливневыми осадками и поступлением по разломам значительных объемов подземных вод. Например, о происходивших событиях свидетельствует отчетливо прослеживаемая по космоснимкам на сотни километров гигантская ***рябь течения*** с шириной волны 50–70 м в долинах р. Большой Енисей (рис. 14), р. Селенга Алтае-Саянской горной области. Истоки этих рек расположены в области неоплейстоцен-голоценового континентального вулканизма с лавовыми полями и вулканами (вулкан Кропоткина и др.). Ширина размыва речной долины р. Большой Енисей на 200-километровом отрезке от г. Кызыла выше по течению, где фиксируется гигантская рябь течения, составляет в среднем около 3 км, а ширина современного русла 200–300, редко до 500 м. Это указывает на перемещение по долине реки в поздненеоплейстоценовое время объемов воды, превосходящих современные на порядок. Такие же гряды с шириной волны 20–150 м (в основном 20–40 м) отмечаются в долинах крупных рек Алтая и межгорных впадинах Чуйской, Курайской, Уймонской, Абайской. Анализ геологических данных и дешифрирование по космоснимкам (КС) морфологии гряд, поперечных простиранию этих долин, показывает, что гряды были образованы западно-северо-западным мощным течением в то же время, что и в долинах рек Енисей, Селенга, – около 13–11 тыс. лет назад. Тип ряби, наблюдаемой на КС в южной части Чуйской впадины с противоположным направлением течения, многие исследователи связывают с вихревыми потоками, образовавшимися при прорыве ледниковой подпруды. Но вероятнее всего, судя по анализу геологических карт, подпрудное озеро образовалось в результате поднятия тектонического блока между Абайской и Чуйской впадинами.

Грядовая рябь наблюдается на территориях, перекрытых песчаными отложениями и обрамляемых горными поднятиями, например в пустыне Такла-Макан, или в прилегающих к современным озерно-морским бассейнам, например в пустыне Кызыл-Кум. На поверхности последней, расположенной в прибрежной части с восточной стороны Каспийского озера-моря, на КС отчетливо видна гигантская рябь с шагом между грядами 1,5–2 км и высотой 20–60 м, сформированная, вероятно, в субаквальных условиях волнами с помощью ветра (рис. 15). В другом случае грядовый рельеф высотой 25–30 м и шириной между грядами 5–6 км, отмечаемый на берегу Западно-Корейского залива, образован приливными течениями [2]. В материковой части в центре пустыни Кызыл-Кум на участках с грядовой рябью крупных размеров фрагментами наблюдается рябь с шагом в 2 раза меньшего размера, сформированная в результате *ветровой эрозии*. Те же особенности отмечаются в пустыне Такла-Макан, где на крупных грядах, расположенных поперек долины (шаг между грядами до 3,5–5 км, высота до 100 м), участками наблюдается мелкая рябь (шаг между грядами 0,8 км, высота до 50 м). Ее образование явно связано с ветровой эрозией в современный период (рис. 16).

Рис. 14. Гигантская рябь течения в правом борту р. Енисей у северной окраины г. Кызыла

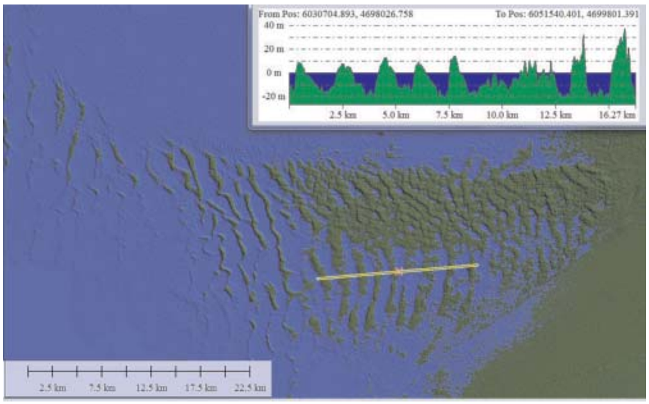


Рис. 15. Гигантская грядовая рябь на восточном берегу Каспийского озера-моря

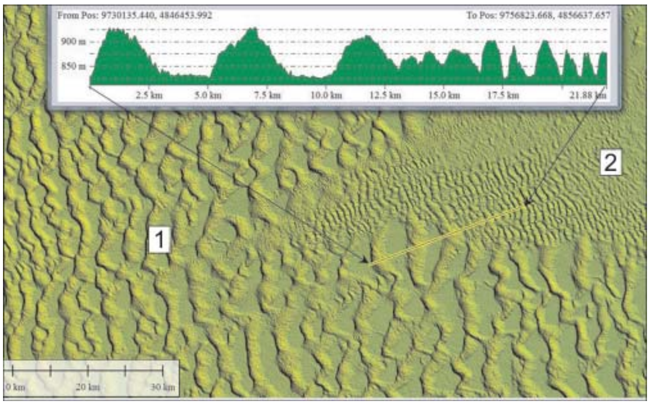


Рис. 16. Гигантская грядовая поздненеоплейстоценовая рябь (1) и наложенная ветровая современная (2). Пустыня Такла-Макан, Таримская впадина

Предположительно, гигантская грядовая рябь в обеих пустынях была сформирована в мелководном море-озере, оставшемся от последней неоплейстоценовой трансгрессии. Размерность этого типа ряби зависит от скорости перемещающихся на поверхности воды воздушных масс, которая в период катастроф имела ураганные значения.

На завершающей стадии регрессивного этапа последнего ритма активные тектонические движения в голоцене сменились мелкоамплитудными поднятиями, приведшими к современному рельефу, а осадочные отложения позднего неоплейстоцена вследствие геоморфологических условий приобрели современные свойства. В участках с постоянной обводненностью (чаще в долинах рек) из-за дефицита кислорода, избытка сероводорода, метана и присутствия органических остатков осадки сохранили первичные свойства и имеют серо-сизый до сине-черного цвет. В местах с сезонной обводненностью (в южной части Азии) лессовые суглинки (прежде бывшие илами), особенно в верхней части разреза, имеют бурый, желто-серый цвет и столбчатую отдельность. Для этих пород характерны высокая пористость и карбонатность, обусловленные наличием макро- и микропор, сформированных по органическим остаткам и частично замещенных карбонатами, фосфатами. Они неоднократно (под воздействием сезонных поверхностных кислородсодержащих вод) подвергались выщелачиванию и окислению с образованием растворимых солей карбонатов, сульфатов, хлоридов, фосфатов. Иными словами, в этом случае процесс преобразования илов в суглинки (лессы, лессовидные, лессоподобные и другие лессовые породы) происходил при поднятии территории и ее «обезвоживании» в результате активного воздействия обогащенных кислородом сезонных поверхностных вод при просачивании, особенно интенсивно – в приповерхностной части.

Одним из признаков катастрофических событий является присутствие на территории Азии многопластовых россыпей золота этого возраста [17]. Например, на Салаире большинство исследователей связывают формирование золотоносных россыпей с четырьмя этапами, соответствующими выделяемым нами ритмам. На каждом этапе накопление золота связано с интенсивным размывом и перемещением в речки золотоносных продуктов коры выветривания и отложений прежних ритмов со склонов, водоразделов [9].

Во время ***первого ритма*** при размыве золотоносных кор выветривания с платообразным рельефом, расчлененным речной сетью, были сформированы в основном элювиальные остаточные россыпи золота на водоразделах и аллювиальные в речных долинах, местами перекрытые тонкообломочными отложениями меретской свиты.

Во время ***второго ритма*** на поднятиях при размыве продуктов кор выветривания и пород предыдущего этапа самородное золото накапливалось в грубообломочных отложениях, а в погружающихся участках сформировались озерно-аллювиальные осадки кочковской и сергеевской (краснодубровской) свит. Во время регрессии в результате активного размыва в плотиковой части русла с изначально первичной золотоносностью кор выветривания сформировались аллювиальные отложения с хорошо окатанным золотом. Во второстепенных долинах, прилегающих к главному руслу, из-за близости коренных пород, в том числе разрушенных, и размыва грубообломочных отложений образовались делювиально-пролювиальные, озерно-аллювиальные россыпи.

Во время ***третьего ритма*** в ранее сформированных речных долинах, в том числе на водоразделах и их склонах, в мелководных условиях, размывая и перекрывая прежние золотоносные отложения, образовались новые аллювиальные, делювиально-пролювиальные россыпи, при последующем опускании перекрываемые илистыми суглинками бачатской свиты. В долинах рек вследствие постоянного размыва глинистые отложения имеют минимальную мощность или отсутствуют. Из-за наличия в каждом ритме осадочных пачек, различающихся по возрасту, составу и свойствам отложений (нижняя пачка более устойчива) при поднятии в размывающихся бортах речек формируются террасовые уступы. Это обусловлено слабой литификацией осадков верхней пачки относительно нижней грубообломочной. Скопления золота этого ритма наблюдаются во всех типах отложений, а в месте размыва золотоносных кор выветривания линейного типа, образуются высокопродуктивные остаточные и перемещенные золотоносные отложения. В этот этап продолжалось формирование многослойных долинных россыпей, характеризующихся максимальными запасами золота сравнительно с другими морфологическими типами.

Во время ***четвертого ритма*** были образованы аквальные отложения еловской свиты (мощностью от нескольких до десятков метров) с многочисленными конкрециями (скелетами колоний мшанок), перекрывающие практически всю территорию Салаирского кряжа. В подошве глинистые отложения свиты в долинах речек и на склонах подстилаются грубообломочными осадками ближнего сноса. По завершении трансгрессии в результате поднятия территории образования этого этапа были максимально размыты в речных долинах и частично в прилегающих к ним ручьях.

Из-за действия силы Кориолиса русла речек были смещены к восточному или северному борту долин. Поэтому аллювиальные отложения прежнего ритма в некоторых долинах (увальные и погребенные россыпи) остались перекрытыми глинистыми осадками, причем значительной мощности (до 30–40 м). В это время формирование уступов-террас максимально проявилось в глубоко расчлененной

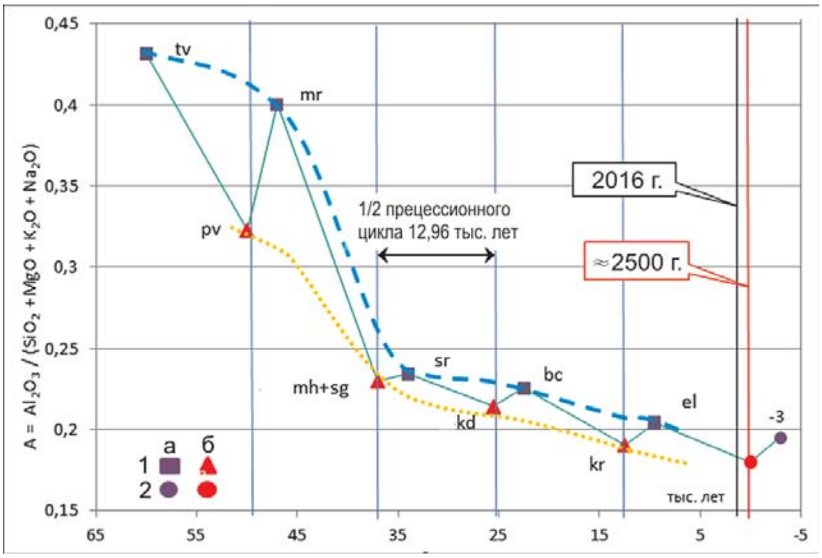


Рис. 17. Сопоставление выделенных ритмов (предполагаемых трансгрессий и регрессий) по показателю зрелости пород области сноса 10 свит рыхлых отложений Предалтайской равнины и Салаира (71 проба) с прецессионными циклами развития Земли

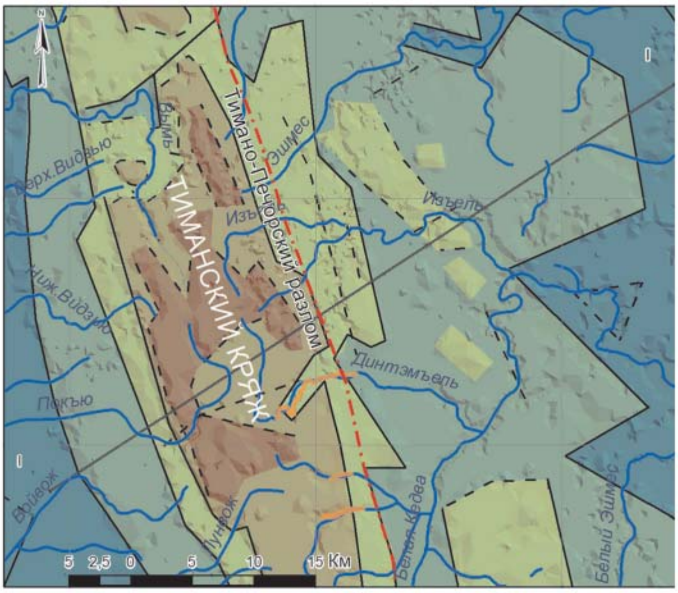
Отложения свит: 1 – установленные, 2 – прогнозируемые, а – тонкообломочные, б – грубообломочные; свиты *Предалтайской равнины*: tv – таволжанская (1), pv – павлодарская (2), mr – меретская (1), mh – моховская (2); *Северо-Западного Салаира*: sg – сагарлыгская (2), sr – сергеевская (6), kd – кедровская (13), bc – бачатская (13), kr – краснобродская (1), el – еловская (31) (в скобках – количество анализов)

мелкосопочной геоморфологической ступени. При поднятии из-за понижения уровня и сезонного изменения грунтовых вод началось преобразование суглинков в лессовые породы. Впоследствии, уже в голоценовое время, в период мелкоамплитудных поднятий в долинах крупных речек начали формироваться современные пойменные россыпи с мелким золотом, а также русловые при перемыве отложений прежних ритмов. К этому же последнему ритму можно отнести образование техногенных россыпей с мелким и тонким золотом, которое при отработке по гравитационной технологии осталось в перемытых старателями отложениях.

Выявленная ритмичность подтверждается и по результатам интерпретации химического состава свит кайнозойского осадочного чехла Предалтайской равнины и Салаира. Возраст отложений выделенных свит по данным радиоуглеродного анализа не старше 50–54 тыс. лет [16]. Ранее они сопоставлялись со стратотипическими свитами неогена и раннего – среднего неоплейстоцена Кузбасской впадины. На графике показателя зрелости пород областей сноса A = $Al_2O_3/(SiO_2 + MgO + K_2O + Na_2O)$ наблюдается ритмичная последовательность смены состава выделенных свит с уменьшением значений от ранних к поздним (рис. 17). Состав свит по литохимическим модулям (A = SiO_2/Al_2O_3) изменяется от высокоглиноземистого некарбонатного с высокой степенью зрелости материала отложений раннего этапа до низкоглиноземистого карбонатного для позднее сформировавшихся. Эти отложения характеризуются наличием четырех ритмов, каждый из которых состоит из двух различающихся по составу пачек: верхней глинистой с «конкрециями», часто описываемыми как «железистые оолиты», и нижней песчано-глинисто-щебнистой с примесью грубообломочного материала. Выявленная закономерность, а именно ритмически последовательная смена состава отложений, связанных с разрушением, переносом и отложением осадков в определенные интервалы времени, свидетельствует об устойчивости процессов и возможной предсказуемости события. Если увязать эти события с прецессионными циклами Земли [7], то в предлагаемом варианте очередная трансгрессия с катастрофическими событиями (при длительности полупериода 12960 лет), произойдет в течение ближайших 1000 лет (см. рис. 17), поскольку последнее катастрофическое событие, приведшее к накоплению осадков и гибели крупных животных, состоялось примерно 10–13 тыс. лет назад. Предлагаемая оценка прогноза предстоящего события вероятностная, так как изучаемое число событий незначительно (всего четыре), а принятый интервал цикличности (12960 лет) лишь предполагаемый.

Таким образом, в позднем неоплейстоцене центральная часть Азии периодически подвергалась поднятию и размыву, а на периферии впадины заполнялись осадками, которые сносились с поднятий водными потоками. Осадки в таких впадинах характеризуются сверхбыстрым (катастрофическим) накоплением и близки к формирующимся в современных дельтах рек Азии (Янцзы, Хуанхэ и др.) [10]. Происходящие процессы трансгрессий и регрессий сопровождались тектоно-магматической деятельностью, активными вулканическими извержениями, поступлением газово-водных флюидов по тектоническим нарушениям с преобразованием рельефа поверхности.

В результате размыва на поднятиях в зоне выноса формировались остаточные продукты химических кор выветривания с минералами, образующими россыпи золота, платины, титана, алмазов. В прибрежных частях с растительностью и на мелководье формирующихся впадин, насыщенных микроорганизмами, шло интенсивное преобразование пород дна, выветрившихся в мел-палеогеновое время [9, 17]. На участках с металлоносными породами формировались хемогенно-гидротермально-биогенные скопления, которые частично наследовали исходную форму рудных тел, участками замещенных глинистыми минералами и нередко преобразованных



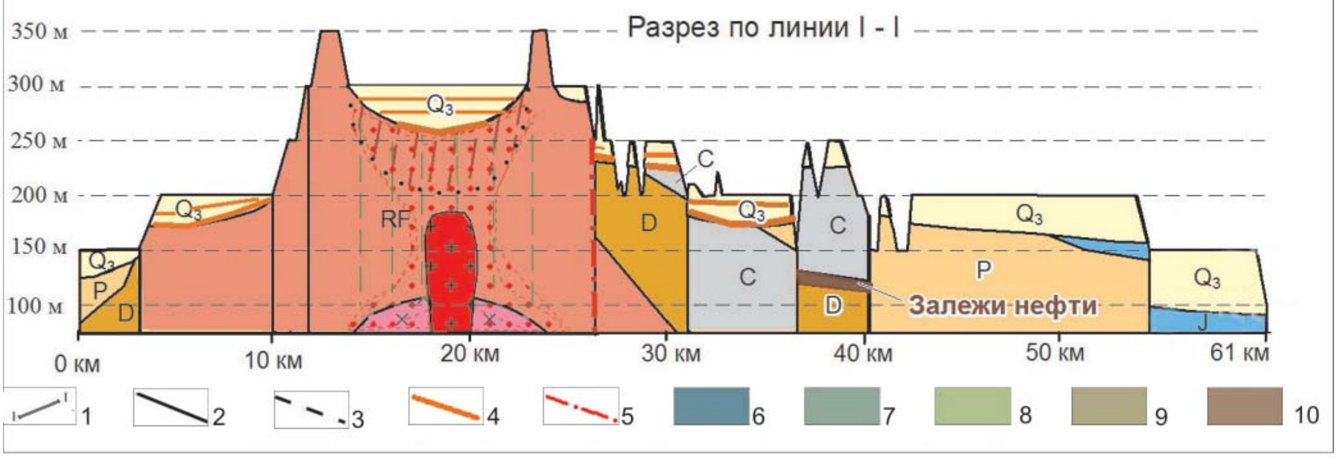


Рис. 18. Схема дешифрирования цифровой модели радарного космического снимка «АСТЕР» v2 методом усреднения с шагом по высоте 50 м

1 – линия разреза; 2, 3 – линеаменты: 2 – выраженные в рельефе, 3 – предполагаемые; 4 – золотосодержащие горизонты; 5 – Тимано-Печорский разлом; 6–10 – поверхности равномерных высот, м: 6 – 150, 7 – 200, 8 – 250, 9 – 300, 10 – 350

в пластовые залежи, содержащие рудные элементы как материнских пород, так и привнесенные металлоносными флюидами по зонам разломов. В это время при регенерации пород впадин, сложенных мощными мезозой-кайнозойскими осадками в газонефтематеринских горизонтах формировались месторождения УВ (Тимано-Печорский регион, ЗСП, Средняя Азия, Северный Китай и др.). Преобразованию отложений способствовали аномальное тепловое поле и газоводные флюиды, поступающие по тектоническим нарушениям, которые ограничивают поднимающиеся блоки. Например, авторы [14] связывают образование нефтяных месторождений Бохайского бассейна с этапом внедрения палеогеновых базальтовых магм в бортовые части рифтовых впадин, что привело к прогреву мощных осадков, богатых органикой, и регенерации углеводородов. Далее УВ, поднимаясь по разломам, заполнили не только антиклинальные структуры, но и ловушки стратиграфического и литологического типов. Кроме месторождений нефти и газа, здесь в бортах впадины находятся крупные месторождения золота, в верхней части сложенные золотоносными корами выветривания и аллювиальными россыпями (месторождение Маолин, шахта «Силинь», рудные поля Саньшаньдао, Цзяоцзя, Линлун и др.).

Подобные закономерности отмечаются в Тиманском кряже, расположенном в западной части Тимано-Печорского нефтегазового бассейна на севере Азии. Здесь объекты, содержащие золото, платину и алмазы, приурочены не только к коренным породам, но и к корам выветривания, а также к аллювию речных долин. При анализе материалов дешифрирования радарных снимков (с точностью ΔН = 12 м) средней части Тиманского кряжа по отстроенным через каждые 50 м уровням (от 150 до 350 м) выделяется пять ориентированных в северо-северо-западном направлении поверхностей с равномерными высотами (рис. 18). На пологом восточном борту кряжа в блоке с 200-метровым уровнем отмечаются мелкие блоки разной размерности, поднятые на 50 м (до высоты 250 м) и вытянутые цепочкой параллельно направлению хребта. К югу в одном из таких блоков находится Ярегское месторождение нефти в отложениях девонского возраста (Южный Тиман). На линии разграничения протерозойского и герцинского блоков в зоне Тимано-Печорского разлома (Средний Тиман) отмечаются россыпи золота, платины, алмазов. Их источником являются объекты, приуроченные к коре выветривания или низкотемпературным глинистым образованиям (типа россыпи Ичеть-Ю) и содержащие не только алмазы и самородные металлы, но и редкоземельные и редкометалльные минералы.

Все исследователи данного района отмечают неотектоническую активизацию в голоцене, фиксируемую по наличию неоплейстоценовых отложений озерно-морского генезиса на разных гипсометрических уровнях Тиманского кряжа и в долинах прилегающих речек. Эти образования отмечаются как в осевой части, где их мощность от первых до 10–30 м, редко более, так и в равнинной, где в центре она постепенно увеличивается до 100–200 м. Здесь выделяются три ритма формирования осадочных толщ с двумя пачками в каждом: нижней грубообломочной (с россыпеобразующими минералами) и верхней тонкообломочной, сложенной преимущественно глинами, суглинками с щебеночно-дресвяно-песчанистыми прослоями и линзами. Наличие одновозрастных неоплейстоценовых отложений и в верхних частях кряжа, и в Тимано-Печорском бассейне связано с блоковым поднятием Тиманского кряжа в период современной тектонической активизации.

Выводы

Наблюдаемая периодичность катастрофических событий в Азии и описанные признаки позволяют определить главные условия безопасной жизнедеятельности людей: прогнозирование опасных природных явлений, выделение пригодных для проживания территорий с доступными природными ресурсами.

В целом восстановление геологических событий прошлого с признаками, указывающими на их генезис, в предлагаемой модели позволит выделить в континентальной части Азии:

1. Потенциально перспективные районы с участками скоплений металлов россыпной формации Au, Pt, Ti в выветрелых коренных породах, а также продуктивные горизонты в рыхлых отложениях кайнозоя, содержащие минералы Au, Pt, Zr, Ti, Sn, редкие металлы. Например, на территории Салаирского кряжа добычными участками самородного золота были долины речек с россыпями, образованными в результате размыва золотоносных пород. В настоящее время они практически отработаны, а перспективы добычи золота связаны с корами выветривания и аллювиально-делювиальными россыпями, погребенными под отложениями позднего неоплейстоцена.

2. Потенциально перспективные полезные ископаемые, образованные с участием микроорганизмов (фосфоритов, бокситов, Fe, Mn, УВ, Au и др.).

3. Осадки, содержащие микроэлементы (фосфаты, железо и т. п.) и влияющие на урожайность определенных видов растений, используемых человеком. Наиболее продуктивны пачки с фоссилиями: фосфатсодержащие отложения, пригодные для удобрений, для производства кирпичей, красок, и в бальнеологических целях.

4. Участки с неблагоприятными условия поисков полезных ископаемых из-за наличия суглинистых дальнеприносных отложений значительной мощности.

5. Ожидаемые природные опасные для людей катастрофические события:

5.1. В горных районах – селевые потоки, образование которых связано с накоплением отложений в моренных озерах, расположеных по линии разломов, контролирующих современные эпицентры землетрясений. Например, моренные озера в осевой части горного хребта Заилийского Алатау представляют угрозу для городов Алматы, Каскелен, Иссык, Талгар и др. По линии глубинных разломов в приосевой части современных горных хребтов формируются рыхлые отложения с динамически меняющейся водонасыщенностью, зависящей от их физических свойств, от климатических условий, от поступления глубинных газоводных флюидов. Так, в Алматы осенью 2015 г. произошел сход селя в результате прорыва моренных и подпрудных озер.

5.2. В предгорьях – сход оползней значительных объемов. В Юго-Восточной Азии в результате насыщения водой рыхлых отложений верхней пачки при наличии подстилающих водоупорных глин нижней пачки поселения, расположенные на таких суглинках, могут быть разрушены.

5.3. На равнинах – разрушение плотин, зданий, дорог и других сооружений, построенных на породах с высокой степенью просадочности, при насыщении грунта водой. Не случайно на лессовых грунтах 45 % затрат приходится на мероприятия по защите от просадочности.

5.4. В речных долинах – масштабные наводнения. Например, в случае поднятия коренных пород на 8–10 м в устье р. Амур или опускания фундамента Среднеамурской впадины Хабаровск и прилегающие к реке поселения будут затоплены.

5.5. Выброс газогидратов (прорыв газов или грязи к поверхности), который может привести к разрушению дорог, нефтегазовых трубопроводов и других объектов; в подземных выработках при выбросе метана возможен взрыв, а поступление углекислого газа ведет к отравлению.

Процессы, изменяющие среду обитания и органический мир Азии в неоплейстоцене – голоцене, происходили в определенной последовательности с ритмически повторяющимися циклами трансгрессий и регрессий (микроциклами в истории Земли) и приводили к массовой гибели обитателей органического мира.

Поэтому необходимо подготовить концепцию, основанную на установленных фактах, которая позволила бы для территории России:

– выполнить реконструкцию катастрофических событий прошлого по разработанным критериям;

– с приемлемой достоверностью прогнозировать опасные события будущего и выделить районы, где они могут произойти;

– определить благоприятные для проживания людей места.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бакшеев Н. А.** О природе карбонатных конкреций, и не только, из поздненеоплейстоценовых отложений юга Западной Сибири и Казахстана // Сб. докл. Междунар. конф. «Геология, минерагения и перспективы развития минерально-сырьевых ресурсов Республики Казахстан», посвящ. юбилейной дате – 75-летию образования Института геологических наук им. К. И. Сатпаева. – Алматы, 2015. – С. 42–48.

2. **Берега** / П. А. Каплин, О. К. Леонтьев, С. А. Лукьянова, Л. Г. Никифоров. – М.: Мысль, 1991. – 479 с.: ил., карт. – (Природа мира).

3. **Вискова Л. А.** Феномен энтрофии у морских мшанок // Морфогенез в индивидуальном и историческом развитии: симметрия и асимметрия. Сер. «Гео-биологические системы в прошлом». – М.: ПИН РАН, 2013. – С. 145–164.

4. **Гостиловская М. Г.** Определитель мшанок Белого моря. – Л.: Наука, 1976. – 248 с.

5. **Данилов И. Д.** Конкреции в плейстоценовых отложениях Большеземельской тундры // Литология и полезные ископаемые. – 1968. – № 3. – С. 120–128.

6. **Зенин В. Н.** Поздний палеолит Западно-Сибирской равнины: автореф. дис. … д. и. н. – Новосибирск: ИАЭТ СО РАН, 2003. – 423 с.; ил.

7. **Епифанов В. А.** Связь геолого-климатических событий среднего и позднего неоплейстоцена с прецессионными циклами и модуляциями интенсивности магнитного поля Земли как элемент прогноза природных катастроф // Квартер во всем его многообразии. Фундаментальные проблемы, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: матер. VII Всерос. совещ. по изучению четвертичного периода. Т. 1. – СПб., 2011. – С. 195–197.

8. **Исследование** марганцевой и железомарганцевой минерализации в разных природных обстановках методами сканирующей электронной микроскопии / Г. Н. Батурин, Б. А. Богатырев, М. Габер и др.; науч. ред. Г. Н. Батурин. – М.: Эслан, 2012. – 472 с.

9. **Калинин Ю. А., Росляков Н. А., Прудников С. Г.** Золотоносные коры выветривания Сибири – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2006. – 339 с.

10. **Лисицин А. П.** Закономерности осадкообразования в областях быстрого и сверхбыстрого осадконакопления (лавинной седиментации) в связи с образованием нефти и газа в мировом океане // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50, № 4. – С. 373–400.

11. **Лисицин А. П.** Лавинная седиментация и перерывы в осадконакоплении в морях и океанах. – М.: Наука, 1988. – 309 с.

12. **Обручев В. А.** Лесс Северного Китая // Труды комиссии по изучению четвертичного периода. Т. XIV. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – С. 18–53.

13. **Павлинов В. Н.** Некоторые данные о генезисе китайских лессов // Труды комиссии по изучению четвертичного периода. Т. XIV. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – С. 54–79.

14. **Перспективы** открытия нетрадиционных месторождений золота в поздненеоплейстоценовых отложениях Салаирского кряжа / Н. А. Бакшеев, Ю. А. Калинин, Л. М. Житова, Е. И. Фрадкин // Золото и технологии. – 2017. – № 3 (37). – С. 158–164.

15. **Рапацкая Л. А., Буглов Н. А., Егорова Н. Е.** О некоторых факторах онтогенеза углеводородов в Северо-Китайском нефтегазоносном бассейне // Вестн. ИрГТУ. – 2013. – № 10 (81). – С. 95–103.

16. **Русанов Г. Г., Орлова Л. А.** Радиоуглеродные датировки (СОАН) Горного Алтая и Предалтайской равнины: каталог. – Бийск, АГАО, 2013. – 291 с.

17. **Третьяков А. В.** Формирование, закономерности размещения и перспективы золотоносности востока Казахстана. – Алматы, 2009. – 296 с.

18. **Фаворская Т. А.** Мшанки мезокайнозоя. Практическое руководство по макрофауне России и сопредельных территорий. – СПб.: ВСЕГЕИ, 1996. – 81 с.

REFEREBCES

1. Baksheev N.A. [On the nature of carbonate nodules and not just that, from Late Neo-Pleistocene sediments of the southern West Siberia and Kazakhstan]. *Sbornik dokladov k Mezhdunarodnoy konf. “Geologiya, minerageniya i perspektivy razvitiya mineralno-syryevykh resursov R. Kazakhstan”, posv. yubileynoy date – 75-letiyu obrazovaniya Instituta geologicheskikh nauk im. K. I. Satpaeva* [Collected Reports to the International Conference “Geology, minerageny and prospects for development of mineral resources of the Republic of Kazhakhstan”, devoted to the 75th anniversary from the date of foundation of the Institute of Geological Sciences named after K.I.Satpaev]. Almaty, 2015, pp. 42–48. (In Russ.).

2. Kaplin P.A., Leontyev O.K., Lukyanova S.A., Nikiforov L.G. *Berega* [Shores]. Moscow, Mysl Publ., 1991. 479 p. (Nature of the World). (In Russ.).

3. Viskova L.A. [Phenomenon of entropy in marine bryozoans]. *Morfogenez v individualnom i istoricheskom razvitii: simmetriya i asimmetriya. Ser. «Geo-biologicheskiye sistemy v proshlom»* [Morphogenesis in individual and historical development: symmetry and asymmetry. Geo-biological system in the past (series)]. Moscow, PIN RAS Publ., 2013, pp. 145–164. (In Russ.).

4. Gostilovskaya M.G. *Opredelitel mshanok Belogo morya* [Manual for the identification of the White sea bryozoans]. Leningrad, Nauka Publ., 1976. 248 p. (In Russ.).

5. Danilov I.D. [Nodules in Pleistocene deposits of the Bolshezemelskaya tundra]. *Litologiya i poleznye iskopaemye – Lithology and Mineral resources*. 1968, no. 3, pp. 120–128. (In Russ.).

6. Zenin V.N. *Pozdniy paleolit Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Late Paleolith of the West Siberian Plain]. Author’s abstract of DSc thesis. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2003. 58 p. (In Russ.).

7. Epifanov V.A. [Connection between geological and climatic events of the Middle and Late Neo-Pleistocene with processional cycles and modulations of the Earth's magnetic filed as an element of the natural disasters prediction]. *Kvarter vo vsem ego mnogoobrazii. Fundamentalnye problemy, itogi izucheniya i osnovnye napravleniya dalneyshikh issledovaniy: materially VII Vserossiyskogo soveshchaniya po izucheniyu chetvertichnogo perioda* [Quaternary system across the spectrum. Fundamental problems, study results and main trends for future researches: proceedings of the 7th All-Russian Conference on the study of the Quaternary system]. Vol. 1. Saint Petersburg, 2011, pp. 195–197. (In Russ.).

8. Baturin G.N., ed. *Issledovaniye margantsevoy i zhelezomargantsevoy mineralizatsii v raznykh prirodnykh obstanovkakh metodami skaniruyushchey elektronnoy mikroskopii* [The study of manganese and ferromanganese mineralization in different natural environments by scanning electron microscopy]. Moscow, Eslan Publ., 2012. 472 p. (In Russ.).

9. Kalinin Yu.A., Roslyakov N.A., Prudnikov S.G. *Zolotonosnye kory vyvetrivaniya Sibiri* [Gold-bearing weathering crusts in Siberia]. Novosibirsk, Geo Academic Publ., 2006. 339 p. (In Russ.).

10. Lisitsyn A.P. Patterns of rapid and extremely rapid (avalanche) sedimentation: implications for marine oil and gas generation. *Russian Geology and Geophysics*, 2009, vol. 50, no 4, pp. 278–298.

11. Lisitsyn A.P. *Lavinnaya sedimentatsiya i pereryvy v osadkonakoplenii v moryakh i okeanakh* [Avalanche sedimentation and stratigraphical lacunas in seas and oceans]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 309 p. (In Russ.).

12. Obruchev V.A. [Loess of the North China]. *Trudy komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda,*vol. *XIV* [Proceedings of Comission on the study of the Quaternary period, no. 14]. Moscow, AS USSR Publ., 1959, pp. 18–53. (In Russ.).

13. Pavlinov V.N. [Some data on the Chinese loesses genesis]. *Trudy komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda, vol. XIV [*Proceedings of Comission on the study of the Quaternary period, no. 14]. Moscow, AS USSR Publ., 1959, pp. 54–79. (In Russ.).

14. Baksheev N.A., Kalinin Yu.A., Zhitova L.M., Fradkin E.I. [Prospects for discovery of nonconventional gold deposits in Late Neo-Pleistocene sediments of the Salair Ridge]. *Zoloto i technologii*? 2017, no. 3 (37), pp. 158–164. (In Russ.).

15. Rapatskaya L.A., Buglov N.A., Egorova N.E. [On some factors of hydrocarbon ontogenesis in the North-China Petroleum Basin]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta – Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 2013, no. 10 (81), pp. 95–103. (In Russ.).

16. Rusanov G.G., Orlova L. A. *Radiouglerodnye datirovki (SOAN) Gornogo Altaya i Predaltayskoy ravniny* [Radiocarbon datings (SOAN) for the Gorny Altai Mountains and Altai Foreplain]. Biysk, 2013. 291 p. (In Russ.).

17. Tretyakov A.V. *Formirovanie, zakonomernosti razmeshcheniya i perspektivy zolotonosnosti vostoka Kazakhstana* [Formation, regularities of location and prospects of gold content in the east of Kazhakhstan]. Almaty, 2009. 296 p. (In Russ.).

18. Favorskaya T.A. *Mshanki mezokaynozoya. Prakticheskoe rukovodstvo po makrofaune Rossii i sopredelnykh territoriy* [Practical Handbook on the Macrofauna of Russia and adjacent territories: Bryozoans of the Meso-Cenozoic], Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 1996. 81 p. (In Russ.).

№ 1(41) ♦ 2020

УДК 553.98:550.8(571.511)

ПАЙЯХСКАЯ ЗОНА НЕФТЕНАКОПЛЕНИЯ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЕНИСЕЙ-ХАТАНГСКОЙ НГО

А. В. Исаев[1], А. А. Поляков[2]

[1]Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия; [2]АО «Нефтегазхолдинг», Москва, Россия

Новые данные, полученные за 2014–2019 гг. в результате проведения геолого-разведочных работ на Таймырском полуострове как силами недропользователей, так и в рамках программ Федерального агентства по недропользованию, дают основание для существенного расширения площади высокоперспективных земель на западе Енисей-Хатангского регионального прогиба и для выделения самостоятельной Пайяхской зоны нефтенакопления площадью около 30000 км². На примере Пайяхского месторождения рассмотрены особенности геологического строения залежей, месторождений и перспективных объектов Пайяхской зоны, намечены критерии прогноза нефтеносности песчаных тел «ачимовского» типа в составе шуратовской свиты нижнего мела. Это позволило уточнить ресурсную базу территории исследований и обеспечить существенный прирост запасов нефти.

Ключевые слова: *Енисей-Хатангский региональный прогиб, Енисей-Хатангская НГО, Пайяхская зона нефтенакопления, Пайяхское месторождение, неокомский клиноформный комплекс, шуратовская свита, ачимовская толща.*

PAYYAKHSKAYA OIL ACCUMULATION ZONE OF THE WESTERN PART OF YENISEY-KHATANGA PETROLEUM REGION

A. V. Isaev[1], A. A. Polyakov[2]

[1]Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia; [2]AO Neftegazkholding, Moscow, Russia

New data obtained over the period of 2014–2019 as a result of geological exploration on the Taymyr Peninsula both by subsoil users and in the programmes of the Federal subsoil use agency, provide the justification for a substantial expansion of the highly promising areas in the western part of the Yenisey-Khatanga regional trough and delineation of the individual Payyakhskaya oil accumulation zone. Using the example of the Payyakhskoye field, the features of geological structure of accumulations, fields and promising targets of the Payyakhskaya zone are considered, criteria for the predicting sand bodies oil content of the Achimovskiy type in the composition of the Lower Cretaceous Shuratovskaya Formation are outlined, it made possible to clarify the resource potential of the research area and to ensure a significant increase in oil resources.

Keywords: *Yenisey-Khatanga regional trough, Yenisey-Khatanga petroleum region, Payyakhskaya oil accumulation zone, Payyakhskoe field, Neocomian clinoform structure, Shuratovskaya Formation, Achimovskaya stratum.*

DOI 10.20403/2078-0575-2020-1-20-39

Выделенная авторами Пайяхская зона нефтенакопления (ЗНН) расположена на территории Таймырского Долгано-Ненецкого района Красноярского края, в 400 км к северу от Полярного круга. В нефтегеологическом отношении она входит в состав Нижнеенисейского и Танамского нефтегазоносных районов (НГР) Енисейско-Хатангской НГО (рис. 1) и, очевидно, распространяется и далее на запад – в пределы Гыданской НГО Западной Сибири. Актуальность выделения и изучения Пайяхской ЗНН обусловлена появлением новых значимых результатов геолого-разведочных работ: с 2014 по 2019 гг. здесь пробурено девять поисковых скважин, отработано более 1100 км² сейсморазведки 3D и 6000 пог. км – 2D. Это позволило уточнить геологическое строение неокомского клиноформного комплекса, ресурсный потенциал территории и обеспечить существенный (более 1 млрд т) прирост извлекаемых запасов нефти. На современном этапе изученности, в результате комплексного обобщения накопленной геолого-геофизической и геохимической информации, изучения керна и пластовых флюидов, можно говорить о выявлении на Таймыре новой крупной (охватывающей территорию около 30000 км²) зоны нефтенакопления, представленной совокупностью залежей и перспективных объектов в несводовых, литологически экранированных ловушках «ачимовского» типа в составе шуратовской свиты нижнего мела, связанных с «невыдержанными как по площади, так и по разрезу линзовидными песчано-алевритовыми пластами, залегающими в основании неокома» [26]. Продуктивность этих пластов установлена на Иркинской, Пайяхской, Северо-Пайяхской, Западно-Пайяхской, Среднеяровской, Турковской площадях и прогнозируется по данным ГИС на Байкаловской, Кубинской, Казак-Яхской и др.

В соответствии с представлениями акад. А. А. Трофимука [28] основной задачей при выделении зон нефтегазонакопления является изучение и описание закономерностей размещения ловушек и скоплений нефти и газа. В данной статье на основании установленных особенностей геологического строения территории исследований намечены гра-

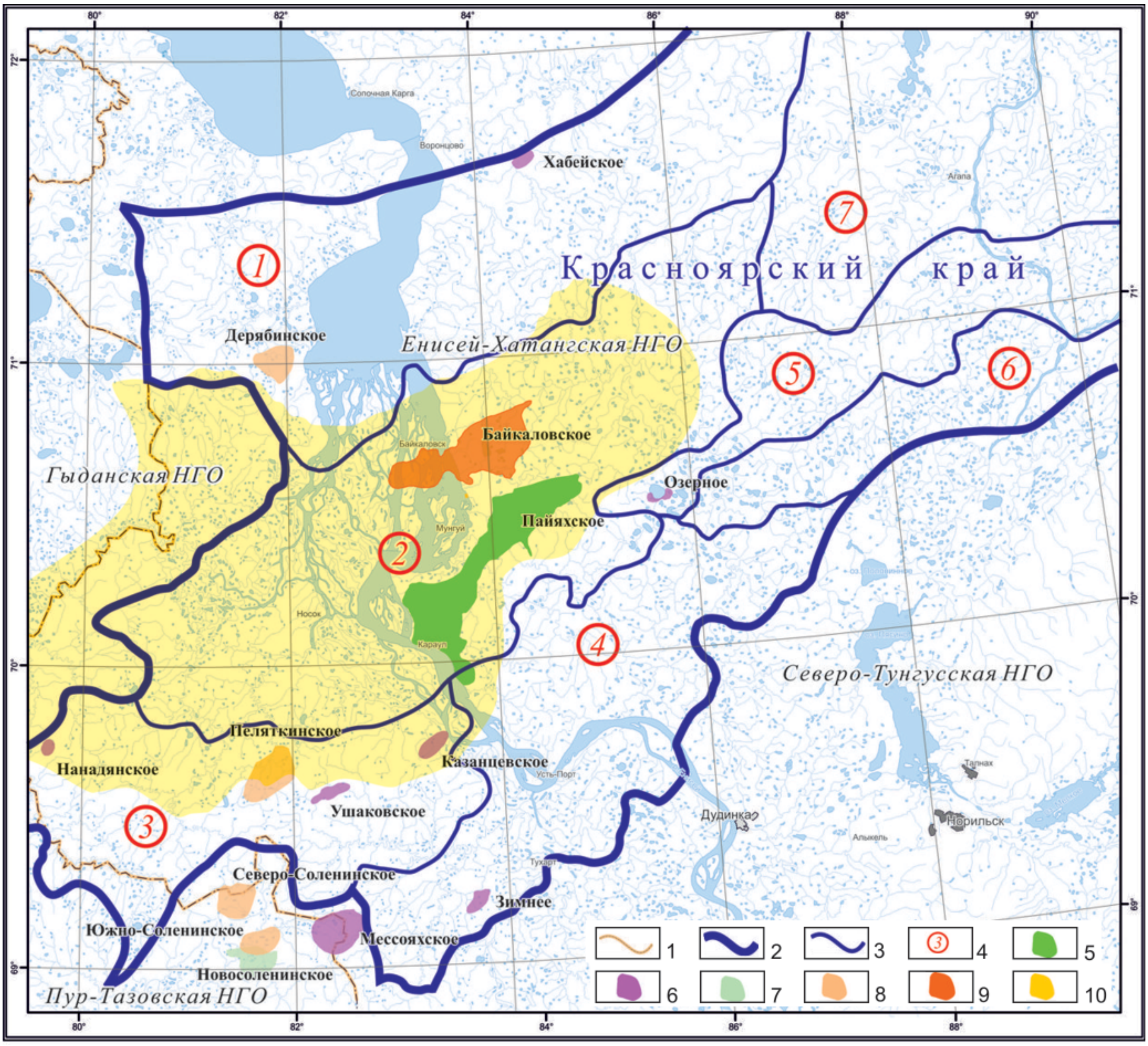


Рис. 1. Обзорная карта западной части Енисей-Хатангской нефтегазоносной области

Границы: 1 – административные, 2 – Енисей-Хатангской НГО, 3 – нефтегазоносных районов (по [12]); 4 – нефтегазоносные районы (1 – Енисей-Пясинский, 2 – Нижнеенисейский, 3 – Танамский, 4 – Малохетский, 5 – Рассохинский, 6 – Предпуторанский, 7 – Агапский); месторождения: 5 – нефтяные, 6 – газовые, 7 – газонефтяные, 8 – газоконденсатные, 9 – нефтегазоконденсатные; 10 – Пайяхская ЗНН

ницы Пайяхской ЗНН, выполнена прогнозная оценка ее ресурсного потенциала, представлены приоритетные направления геолого-разведочных работ.

Критерии выделения Пайяхской зоны нефтенакопления

Точного определения термина «зона нефтегазонакопления», впервые введенного И. О. Бродом в 1951 г., до сих пор нет, однако чаще всего он используется как элемент нефтегазогеологического районирования территорий и акваторий, больший, чем месторождение, но меньший, чем нефтегазоносный район. Вопросы совершенствования понятийной базы, выделения и классификации зон нефтегазонакопления занимали значительное место в отечественных публикациях за 1950–1980 гг. и отражены в работах А. А. Бакирова, И. О. Брода, Н. А. Еременко, А. Н. Золотова, Е. В. Кучерука, В. С. Лазарева, М. Ф. Мирчинка, В. Б. Оленина, Н. Ю. Успенской, В. Е. Хаина и др. Критический анализ существующих дефиниций проводился в уже цитировавшейся работе А. А. Трофимука с соавторами, и в целом следует согласиться с мнением А. А. Бакирова о том, что термин ЗНГН употребляется произвольно, поскольку в него вкладываются различные по существу содержания [5].

Авторами настоящей работы с учетом тематических публикаций Н. Ю. Успенской [29] и О. М. Прищепы [23] дефиниция термина сформулирована так: «совокупность ловушек, локализованных в пределах гидродинамически изолированного интервала разреза и генетически **связанных с обособленным**

структурным, палеотектоническим или палеогеографическим элементом, содержащим выявленные или прогнозируемые залежи, характеризующиеся **едиными условиями формирования**». Данное определение в случае структурного контроля нефтегазоносности соответствует понятию «trend» в зарубежной литературе, а в случае палеогеологического контроля (как и в границах Пайяхской ЗНН) – понятию «play».

С учетом изложенного и на основании ранее опубликованных и фондовых работ специалистов ведущих научно-исследовательских организаций и производственных объединений (СНИИГГиМС, РН-КрасноярскНИПИнефть, ИНГГ СО РАН, Таймыргеофизика, Ванкорнефть, Таймырнефтегаз, ВНИГНИ, ВНИИГЕОСИСТЕМ, МГУ им. М. В. Ломоносова и др.), посвященных теоретическим и практическим вопросам нефтегазовой геологии Енисей-Хатангского регионального прогиба (ЕХРП), авторами приняты следующие критерии выделения Пайяхской ЗНН:

1. Распространение литологически экранированных ловушек, связанных с песчано-алевритовыми пластами «ачимовского» типа в составе нижней части разреза шуратовской свиты нижнего мела [9, 17, 18], формирование которых происходило в условиях проградационного заполнения некомпенсированного бассейна и связано с «поступлением к подножьям неокомских шельфовых террас песчано-алевритовых потоков различной плотности и оползней» [22].

2. Принадлежность этих ловушек к доказанной яновстанско-шуратовской УВ-системе [11, 18], включающей нефтегазоматеринские толщи (НГМТ) яновстанской и гольчихинской свит. С этих позиций пространственные границы Пайяхской ЗНН определяются, помимо первого пункта, границами областей катагенетической преобразованности РОВ, достаточной для реализации нефтематеринского потенциала НГМТ. Косвенным подтверждением активного нефтеобразования при наличии даже небольшого нефтегенерационного потенциала керогена служит аномально высокое пластовое давление (АВПД), отмеченное в скважинах Пайяхской ЗНН и обусловленное упругой энергией углеводородных флюидов, эмигрировавших в «ачимовские» линзовидные резервуары из непосредственно подстилающих их нефтегазоматеринских толщ. Указанные условия формирования залежей нефти являются, по-видимому, едиными для Пайяхской ЗНН.

Геологическое строение Пайяхской ЗНН

В тектоническом отношении зона расположена в центральной части Центрально-Таймырского мегапрогиба (ЦТМ). В ее геологическом строении принимают участие юрско-меловые терригенные образования толщиной до 7000 м, залегающие со стратиграфическим несогласием на вулканогенно-осадочных отложениях триаса [27].

В структуре осадочного чехла ЦТМ обособляются крупные положительные элементы – Танамская структурная терраса и Рассохинский мегавал, севернее которого расположен Агапский прогиб. От Таймырской складчато-надвиговой области они отделены Пуринской моноклиналью, осложненной Дерябинским выступом. В границах положительных структурных элементов и на примыкающих к ним бортах прогибов развиты структуры меньшего порядка, к некоторым из них приурочены месторождения углеводородов.

Возрастной интервал продуктивных отложений довольно широк: от батского яруса средней юры (малышевская свита Хабейского месторождения) до аптского яруса нижнего мела (малохетская свита Пеляткинского месторождения). Все выявленные месторождения газовые, газоконденсатные и нефтегазоконденсатные, за исключением нефтяного Пайяхского, *нефтеносность которого обусловлена благоприятным взаиморасположением природных резервуаров нижней части разреза шуратовской и НГМТ яновстанской и гольчихинской свит*, характеризующихся высоким нефтематеринским потенциалом и находящихся в главной зоне нефтеобразования [2–4, 15, 20]. Именно поэтому Пайяхское месторождение было выбрано в качестве эталонного объекта одноименной зоны нефтенакопления с целью изучения особенностей формирования и закономерностей размещения залежей нефти в «ачимовских» отложениях шуратовской свиты и дальнейшего прогноза ресурсного потенциала территории исследований.

Резервуары шуратовской свиты, локализованные в фондоформной части неокомского клиноформного комплекса ЕХРП, отличаются сложным характером распространения коллекторов. Суммарная толщина «ачимовских» песчаников изменяется от 0 м в Паютской скв. 1 до 114 м и более в Иркинской скв. 1 (см. таблицу). Свойства коллекторов наиболее полно изучены в центральной лаборатории ПГО «Енисейнефтегазгеология» (Красноярск, образцы керна, поднятого до 1991 г.) и лабораториях СНИИГГиМС (Новосибирск, скв. Пх-6, 7), ОАО «ТомскНИПИнефть» (Томск, скв. Пх-8), ОАО «НПЦ «Тверьгеофизика» (Тверь, скв. ЗПх-1), ООО «Корэтест сервис» (Тюмень, скв. Пх-12, Ирк-1).

Обобщая данные по анализу свойств коллекторов Пайяхской ЗНН, можно отметить следующее:

1. Все коллекторы по типу относятся к трещинно-поровым и характеризуются достаточно высокой пористостью (в среднем 15–19 %) и низкой проницаемостью (в основном до 1 мД).

2. Лучшими коллекторскими свойствами обладают песчаники с глинистым цементом и содержанием карбонатного материала не более 1–2 %.

3. Все коллекторы характеризуются значительной остаточной водонасыщенностью (до 50 %).

4. По классификации А. А. Ханина коллекторы в основном относятся к V–VI классам, что позволяет

Свойства коллекторов Пайяхской зоны нефтенакопления

Пласт	Интервал пласта		$H_{общ}$, м	$H_{эф}$, м	$K_п$, доли ед.	$K_{пр}$, мД	Дебит (без ГРП), м³/сут
	кровля	подошва					
Скв. Пх-1							
АчНхIII-2	3340,4	3345,7	5,3	3,9	0,15	0,4	–
АчНхIV-2	3420,2	3424,4	4,2	2,2	0,17	0,4	$Q_н$=37,9
АчНхIV-3	3432	3436,4	4,4	4,4	0,19	0,4–0,7	$Q_н$ =33,0
Скв. Пх-2							
АчНхIV-1	3433,2	3438,4	5,2	3,2	0,16	0,4–0,7	$Q_н$ =2,2, $Q_г$=4–5
АчНхIV-2	3450,2	3453,8	3,6	2,8	0,18	1,5	–
Скв. Пх-4							
АчНхIII-2	3275,4	3286,8	11,4	1,2	0,15	0,7–1,0	Пленка нефти
Скв. Пх-6							
АчНхIII-1	3350,8	3356,2	5,4	1,3	0,16	0,4	–
АчНхIV-0	3421,2	3428,8	7,6	4,6	0,17	0,41–0,9	$Q_н$ =24, $Q_г$=2,7
АчНхIV-1–3	3438,8	3462	23,2	17,1	0,18		
Скв. Пх-7							
АчНхIII-1	3338,3	3376,8	38,5	17,3	0,18	0,3–0,7	Пленка нефти
АчНхIII-2	3391	3403,8	12,8	4,3	0,15	0,4	
АчНхIV-0	3435,8	3451,1	15,3	4,4	0,16	0,13–0,81	$Q_н$ =1,3
АчНхIV-1–3	3459,4	3473,2	13,8	10,0	0,19		$Q_н$ =25
Скв. Пх-8							
АчНхIV-0	3443,2	3452	8,8	2,5	0,16	0,5–0,7	$Q_н$ =19,3
АчНхIV-1–3	3458,2	3494,4	38,2	31,1	0,19	0,3–0,9	
Скв. ЗПх-1							
АчНхI	3442	3453	11,0	4,4	0,17	1,6	$Q_н$ =2,5
АчНхII	3466,2	3492,8	26,8	12,8	0,17	0,4–1,1	
АчНхIII-1	3518	3549,2	31,2	18,0	0,17	0,5–1,5	$Q_н$ =5,26
АчНхIII-2	3555,4	3563	7,6	6,0	0,17	0,1–0,7	$Q_н$ =0,84
АчНхIV-0	3574,6	3588,6	14,0	6,0	0,16		
Скв. Пх-12							
АчНхIII-1	3460	3497	37,0	9,7	0,19	0,6–1,7	$Q_н$ =5,46
АчНхIV-1–3	3535	3585	50,0	7,4	0,16	0,4–1,1	$Q_н$ =4,93
Скв. Яр-2							
АчНхIV	3114	3122	8,0	6,0	–	–	$Q_г$=3, $Q_в$=6,8
Скв. Ан-51							
АчНхIV	3346	3420	74,0	18,0	–	–	$Q_в$=3,74
Скв. Сяр-2							
АчНхIII	3484	3509	25,0	5,5	0,13	0,1	$Q_н$ =0,13
АчНхIV	3529	3629	100,0	25,0	–	–	–
Скв. Сяр-3							
АчНхIV	3185	3227	42,0	7,2	0,17	1,2	$Q_в$=38,4+газ
Скв. Трк-1							
АчНхII	2842	2857	15,0	5,0	–	–	$Q_в$=0,2
АчНхIII	2982	2994	12,0	1,1	–	–	
АчНхIV	3015	3034	19,0	3,7	–	–	$Q_в$=1,6+пленка нефти
Скв. Трк-2							
АчНхIII	2983	3001	18,0	3,9	–	–	Сухо
АчНхIV	3071	3103	32,0	6,7	0,14	0,3–10 (трещ).	$Q_н$ =2,3; $Q_г$=3 т
Скв. ЮНс-318							
АчНхIV-0	3543	3553	10,0	7,0	–	–	$Q_в$=110
АчНхIV-1–3	3565	3634	69,0	11,0	0,15	0,3	–

Окончание таблицы

Пласт	Интервал пласта		$H_{общ}$, м	$H_{эф}$, м	$K_п$, доли ед.	$K_{пр}$, мД	Дебит (без ГРП), м³/сут
	кровля	подошва					
Скв. Ирк-1							
АчНхIII-2	3446	3462	16,0	5,4	0,15	0,6–1,1	–
АчНхIV-0	3551	3578	27,0	10,4	0,17	0,4–0,9	В испытании, кратковременный приток нефти до 720 м³/сут
АчНхIV-1–3	3587	3719	132,0	96,6	0,18	До 3–5	

охарактеризовать запасы выявленных и прогнозируемых залежей как **трудноизвлекаемые**.

В связи со сложным строением шуратовских песчаников «ачимовского» типа важной задачей является уточнение критериев прогноза областей их распространения и картирования ловушек УВ на основании комплексной интерпретации материалов сейсморазведки и бурения для обоснования направлений поисковых работ в Пайяхской ЗНН.

Природные резервуары, ловушки и залежи нефти Пайяхского месторождения

В границах месторождения и на прилегающей территории выполнено свыше 3600 пог. км сейсморазведки 2D и 700 км² – 3D, пробурено 11 скважин, девять из которых вскрыли нефтенасыщенные коллекторы в нижней части разреза шуратовской свиты.

Глубина залегания продуктивных отложений варьирует от 3300 до 3700 м и более. Коллекторы характеризуются резкой изменчивостью нефтенасыщенных толщин (от 1 до 114 м и более). Отмечено аномально высокое пластовое давление, превышающее литостатическое в 1,7 раза. Водонефтяной контакт не установлен, что с учетом данных по избыточному давлению позволяет предположить существование совокупности несводовых литологически экранированных залежей с этажом нефтеносности более 300 м. Флюидоупором служат повсеместно распространенные аргиллиты средней части шуратовской свиты (аналогичные надачимовской пачке центральных областей Западной Сибири). Нефть легкая (0,826 г/см³), малосернистая (0,1–0,2 %), парафинистая (>4 %).

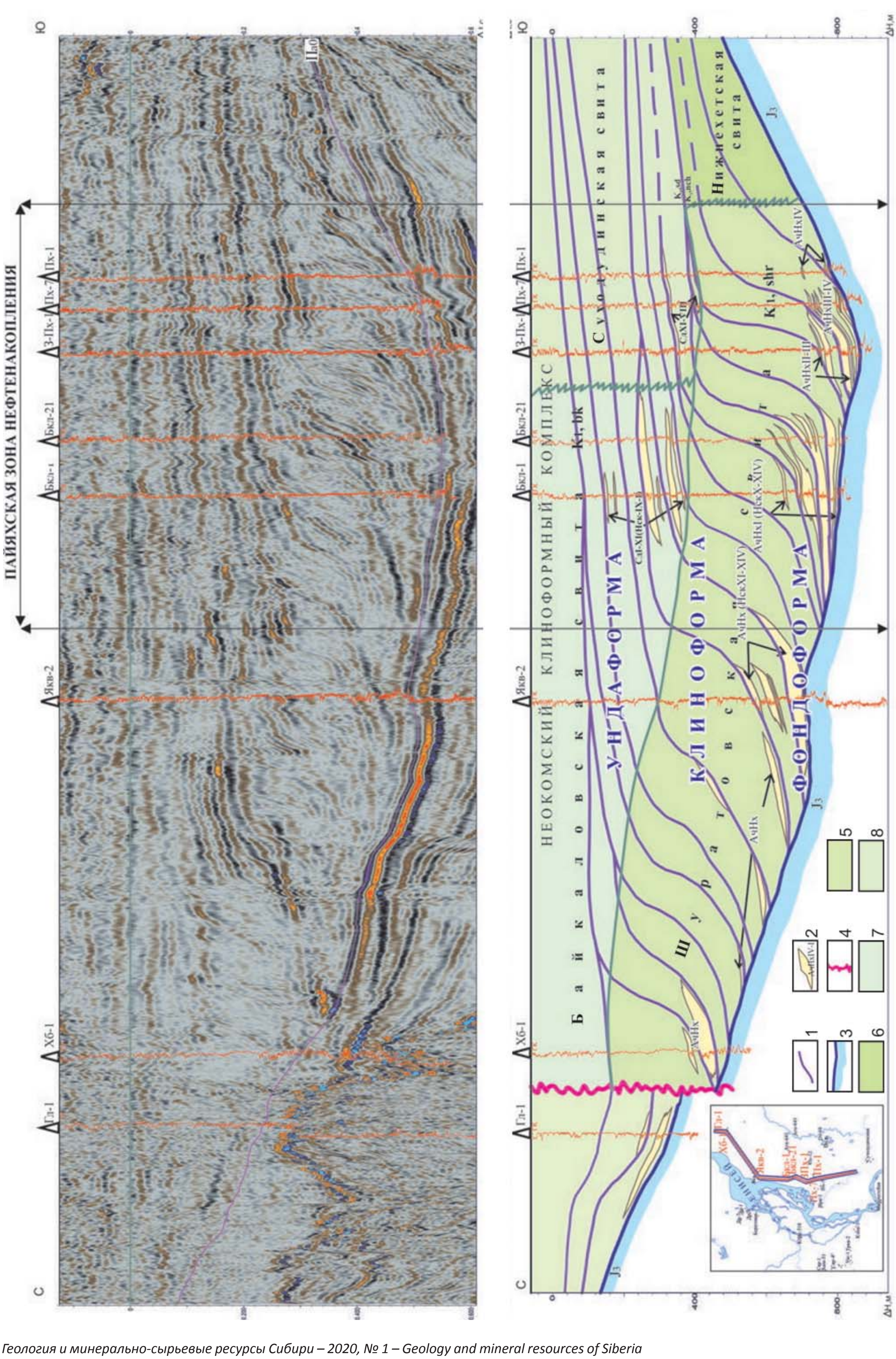
Нефтеносность Пайяхского месторождения, как уже упоминалось, связана с относительно глубоководными (расчетная глубина бассейна на время накопления клиноформных толщ в границах территории исследований превышала 400 м) «ачимовскими» песчаниками нижней части разреза шуратовской свиты («нижнехетские» пласты Нх I–IV). Следует сказать, что песчаники Байкаловской площади, аналогичные продуктивным на Пайяхском месторождении, индексируются как носковские (Нск X–XIV) совместно с мелководно-морскими песчаниками верхней части разреза шуратовской свиты (Нск I–IX). На Дерябинской площади такие же песчаники названы дерябинскими с индексом «Д». Разная индексация пластов приводит к определенным трудностям при оценке запасов и ресурсов УВ. В связи с этим назрела необходимость разработки для ЕХРП единой схемы индексации продуктивных пластов, что невозможно без стратиграфической основы.

Исторически неокомский клиноформный комплекс ЕХРП включал нижнехетскую и суходудинскую свиты, а в 1990 г. [24] был дополнительно подразделен на шуратовскую (морские отложения) и байкаловскую (мелководно-морские отложения). Границы распространения шуратовской свиты в ЕХРП как в разрезе, так и по площади не установлены, этот вопрос остается дискуссионным. По мнению авторов, территориально границы шуратовской свиты соответствуют границам клиноформного комплекса, а в разрезе – ограничены сверху нижней границей мелководно-морских отложений ундаформы (рис. 2). При таком литолого-стратиграфическом делении нет особого смысла присваивать новые индексы пластам одного генезиса. Желательно оставить исторически сложившиеся индексы: для шельфовых (ундаформных) пластов – Сд и Нх, а для «ачимовских» – АчНх, по аналогии с индексацией, принятой для Западной Сибири [21].

Формирование коллекторов в шуратовское время (берриас – ранний валанжин) тесно связано с палеотектоникой региона. История тектонического развития рассматриваемой территории является частью геологических процессов, происходивших на севере Сибири в конце юры – начале мела. В это время ЕХРП был охвачен верхнекиммерийской (верхоянской) фазой складчатости, когда под влиянием тангенциальных напряжений Карского блока формировалась система крупных линейных наклонных

Рис. 2. Субмеридиональный геолого-геофизический разрез Пайяхской зоны нефтенакопления и прилегающей территории Енисей-Хатангского регионального прогиба

1 – границы клиноформ; 2 – песчаные пласты и их индексы (предлагаемые и существующие); 3 – кровля отложений яновстанской и гольчихинской свит; 4 – граница области распространения клиноформ южного падения; отложения свит: 5 – шуратовской, 6 – нижнехетской, 7 – байкаловской, 8 – суходудинской


ПАЙЯХСКАЯ ЗОНА НЕФТЕНАКОПЛЕНИЯ
С
Ю
Гл-1
Хб-1
Якв-2
Бкл-1
Бкл-21
З-Пх-1
Пх-7
Пх-1
НЕОКОМСКИЙ КЛИНОФОРМНЫЙ КОМПЛЕКС
Байкаловская свита
Суходудинская свита
Нижнехетская свита
Шуратовская свита
УНДАФОРМА
КЛИНОФОРМА
ФОНДОФОРМА
J3
K1, shr
K1, bk
1
2
3
4
5
6
7
8

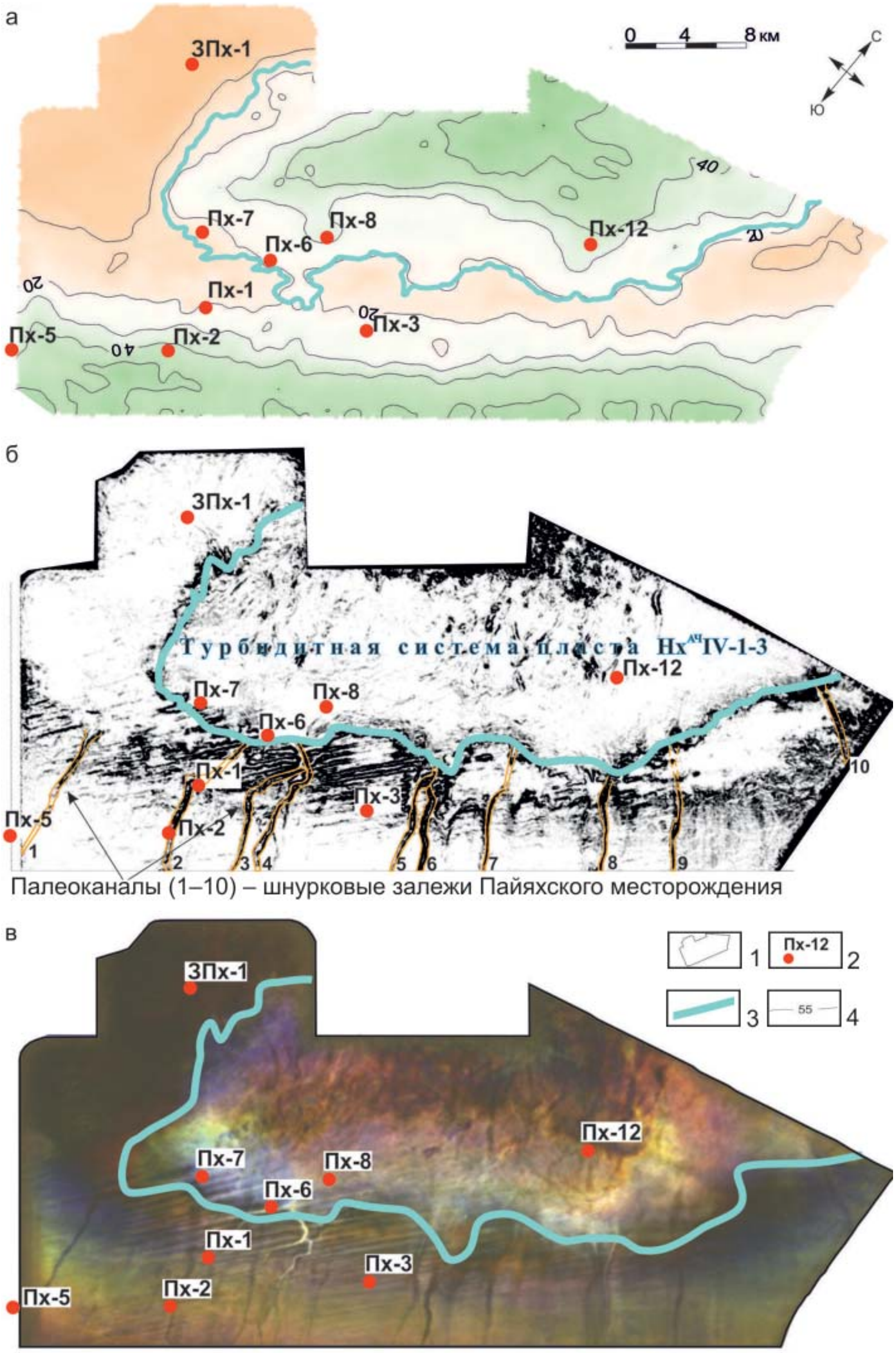


Рис. 3. Отображение турбидитной системы АчНхIV: а – на карте толщин; б – на срезе атрибута «когерентность»; в – на срезе атрибута «спектральное разложение»

1 – полигон картопостроения (контур сейсморазведочных работ 3D); 2 – пробуренные скважины; 3 – граница области распространения турбидитной системы; 4 – изопахиты, м

мегавалов (Рассохинский, Малохетский и др.) [6]. Им сопутствовали компенсационные региональные и локальные депрессии.

Активный рост Рассохинского мегавала, к юго-западному окончанию которого примыкает Пайяхская площадь, привел к образованию в ее центральной части некомпенсированной впадины – мини-бассейна седиментации (рис. 3, а). На юге – юго-востоке в это же время отмечается рост Малохетского вала. Общий подъем территории на юге и значительное прогибание площади на севере привели к формированию «серии пологоналегающих друг на друга слабонаклоненных геологических тел» [8], проградационно заполняющих некомпенсированный бассейн за счет пульсационного поступления в бассейн осадконакопления больших масс песчано-алеврито-глинистого материала с формированием седиментационного склона, осложненного многочисленными каналами (см. рис. 3, б, в). По таким каналам происходила транспортировка осадков к подножью склона с образованием перекрывающихся в плане «вложенных» конусов выноса турбидитных потоков, которые со временем сформировали полифациальную аккумулятивную песчано-алевролитовую турбидитную систему[1] 1-й клиноформы пласта АчНхIV, четко отображающуюся на карте толщин и в сейсмических атрибутах. Турбидитная система площадью свыше 300 км^2 (в пре-

[1] Под турбидитной системой в настоящей работе понимается комплекс генетически связанных фаций и ассоциаций обломочных потоков и турбидитных течений [31].

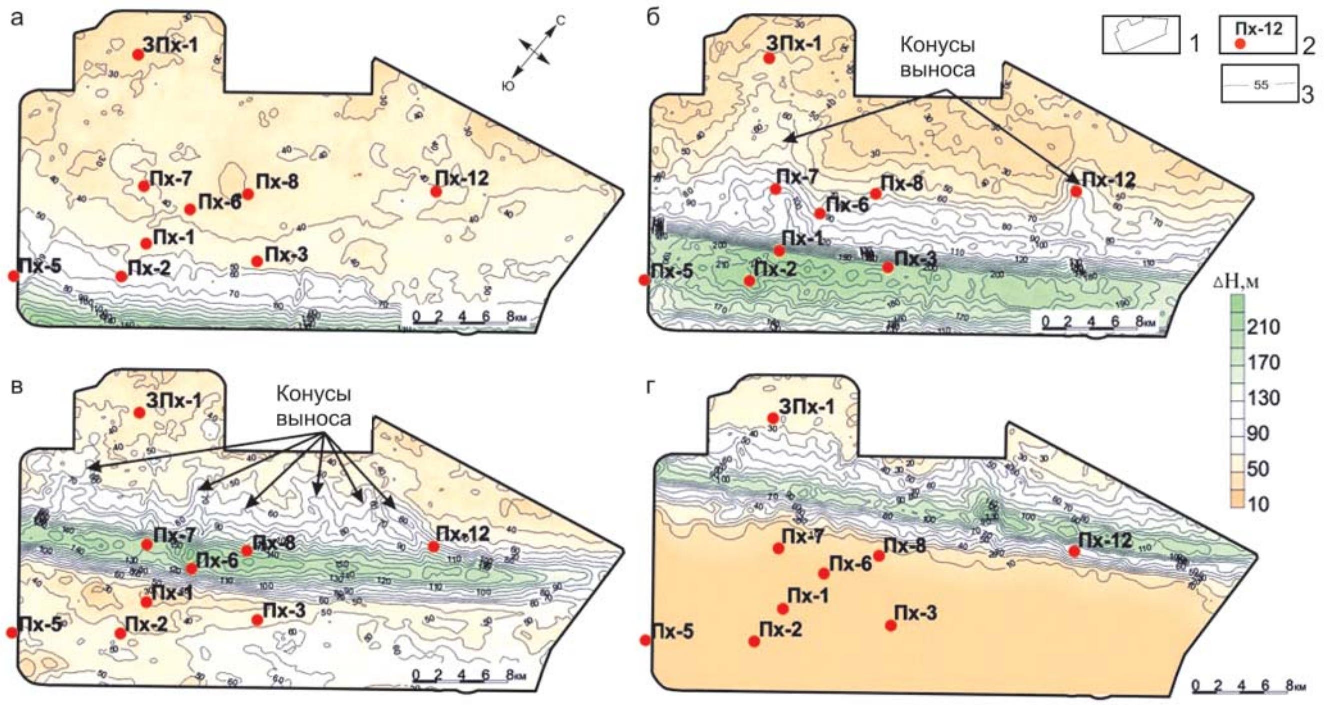


Рис. 4. Основные типы клиноформ Пайяхской площади: а – субклиноформы (без выраженного депоцентра в фондоформной части); б – клиноформы с ярко выраженными конусами выноса – отложения отдельных высокоплотных турбидитных потоков в фондоформе; в – клиноформы с многочисленными невыразительными конусами выноса в фондоформе – отложения многочисленных низкоплотных турбидитных потоков; г – клиноформы с размытой шельфовой частью

1 – полигон картопостроения (контур 3D сейсморазведочных работ); 2 – пробуренные скважины; 3 – изопахиты, м

делах съемки 3D) простирается с юго-запада на северо-восток на расстояние более 30 км, повторяя границы мини-бассейна и с высокой вероятностью далее в северо-восточном направлении за пределы площади 3D. Облик системы АчНхIV формировался, вероятно, также и под влиянием вдольсклоновых течений, которые вымывали из осадочных образований турбидитных потоков глинистые разности. Наложение конусов в плане и их «перемыв» способствуют появлению сейсмического облика «однородного» песчано-алевролитового тела, что хорошо видно на срезе атрибута «когерентность» (см. рис. 3, б).

В конце раннего валанжина тектоническая активность значительно снизилась. Пайяхская акватория Хатангского морского бассейна с этого времени и до раннего готерива характеризуется устойчивым регрессивно-трансгрессивным развитием при боковом заполнении бассейна седиментации на фоне прогибания центральной части ЕХРП. В это время процесс осадконакопления контролировался в основном эвстатическими колебаниями уровня Сибирского моря с формированием отложений, типичных для нижнемеловых клиноформных образований всего Западно-Сибирского бассейна. На Пайяхской площади выделено пять клиноформ, основные типы которых представлены на рис. 4. На фоне закономерного, характерного для клиноформных отложений изменения толщин в бассейновых частях видны их «раздувы», присущие отдельным конусам выноса или их комбинациям. Все эти конусы выноса, как показали результаты бурения скважин ЗПх-1, Пх-6, 7, 8, 12, Ирк-1, являются литологическими ловушками и содержат залежи нефти.

Важную роль в прогнозе таких ловушек играют реконструкции условий формирования продуктивных пластов, выполненные по результатам литолого-стратиграфического и петрофизического изучения керна пластов АчНхIII и АчНхIV, отобранного в скважинах Пх-6, 7, 8, ЗПх-1, анализа материалов ГИС и 3D-сейсморазведки (карты толщин, атрибуты «амплитуда», «когерентность», «спектральное разложение» и др.). Седиментологическое изучение керна пород и данные ГИС показывают, что при внешней литологической однородности пород они имеют ритмичность строения. Этот тип осадков в целом характерен для дистальных лопастевидных конусов выносов, формирующихся мористее дельт – в глубоководных морских условиях [25]. По керну в разрезе выделены градационные по строению осадочные единицы, которые характеризуются закономерной сменой снизу вверх типов осадочных текстур и постепенным утонением гранулометрического состава. По текстурным особенностям (элементы проградационной слоистости, наличие подводно-оползневых явлений) породы следует отнести к группе фаций турбидитных (мутьевых) потоков и ассоциирующихся с ними фаций (склоновые шлейфы, оползни и т. д.). Отсутствие индикаторов прибрежной, волновой переработки осадков, обильных остатков мелководно-морской фауны в отложениях свидетельствуют об их обра-

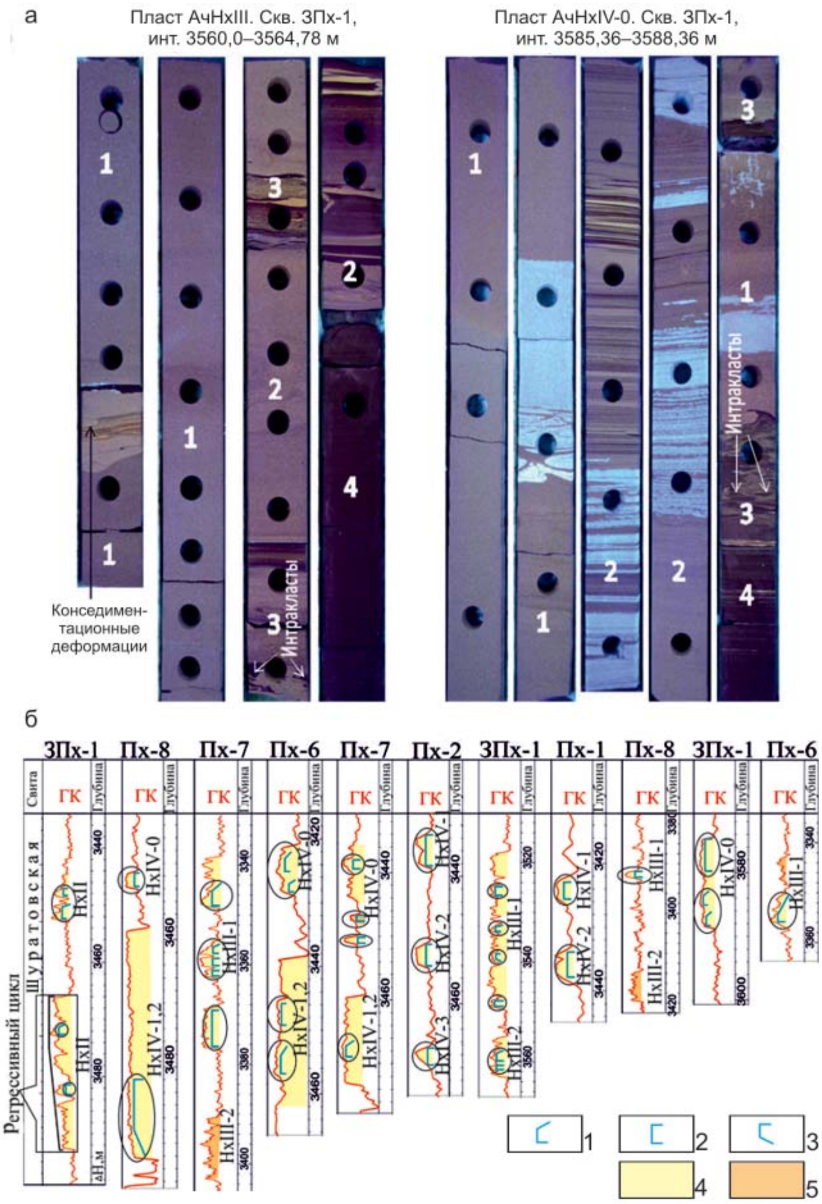


Рис. 5. Пайяхское месторождение: а – результаты седиментологического изучения керна (1 – тонко-мелкозернистые песчаники проксимальных высокоплотных турбидитных течений; 2 – мелкозернистые песчаники низкоплотных турбидитных течений; 3 – крупнозернистые плохо отсортированные алевролиты с глинистыми интракластами; 4 – градационные алевролиты и аргиллиты); б – фациальная характеристика пластов группы АчНх

Радиометрические фации: 1 – конусов выноса с нормальной градационной слоистостью, 2 – каналов и русел, 3 – конусов выноса с обратной градационной слоистостью; преобладающий литологический состав: 4 – песчаники, 5 – алевролиты

зовании в достаточно глубоководном бассейне, ниже базиса штормовых волн. Отложения характеризуются слабой переработкой организмами, что объясняется повышенными скоростями седиментации при перемещении осадков турбидитными потоками.

Анализ текстурных особенностей продуктивных пластов Пайяхского месторождения позволил выявить значительные черты сходства их строения с существующими стандартными текстурами песчаных и тонкозернистых (глинисто-алевритовых) турбидитов [1, 25]. Отложения пластов АчНхIV и АчНхIII представлены четырьмя основными литотипами (рис. 5, а);

1. Тонко-мелкозернистые песчаники высокоплотных течений.

2. Градационные горизонтально- и мелкокосослойчатые песчаники.

3. Массивные алевролиты с глинистыми интракластами.

4. Градационные алевролиты и аргиллиты.

Фациальная принадлежность отложений по данным ГИС определялась по методике В. С. Муромцева [16]; большинство кривых ПС оказались малоинформативными, поэтому при фациальном анализе использовались кривые ГК. Полученные данные сравнивались с результатами литолого-петрографических, структурно-текстурных, гранулометрических и микроскопических исследований пород.

Пласты АчНхIV, АчНхIII по кривой ГК характеризуются отрицательной аномалией и могут быть описаны формализованной моделью в виде прямоугольника с прямыми горизонтальными границами в кровле и подошве, а также вертикальной боковой линией (см. рис. 5, б), что позволяет отнести их к фациям подводных каналов. Большие значения двойного разностного параметра α-ГК для пластов АчНхIV также подтверждают их формирование в условиях с активной палеогидродинамикой. Например, в скважинах Пх-1, 2 радиометрическая характеристика пластов АчНхIV позволяет отнести их к типовым моделям отложений подводных русел. Русловое происхождение данных песчаников отображается и на срезе атрибута «когерентность». Как видно, скважины Пх-1, 2 пробурены в области подводящего канала (см. рис. 3, б).

По сравнению с пластами группы АчНхIV пласт АчНхIII формировался в более спокойных гидродинамических условиях, что установлено по уменьшению значений двойного разностного параметра α-ГК. По результатам макроскопического описания керна скв. 3Пх-1 пласт АчНхIII сформирован низкоплотными турбидитными течениями, имеющими практически полный набор текстурных подразделений последовательности Боума. Пласты песчаника АчНхI и АчНхII, вскрытые в скв. 3Пх-1, керном не охарактеризованы. По кривой ГК перечисленные пласты можно отнести к фациям конусов выноса (см. рис. 5, б).

Таким образом, по структурно-текстурным признакам, характеру седиментационной цикличности и форме кривой ГК песчаники пластов группы АчНх Пайяхского месторождения относятся к различным элементам турбидитной системы. На основе полученных данных были построены объемные палеогеоморфологические модели турбидитных систем и литолого-фациальные схемы для пластов АчНхIV, АчНхIII (рис. 6, 7).

На литолого-фациальной схеме пласта АчНхIV выделены следующие основные зоны: глубокого моря, турбидитной системы и склона шельфа (см. рис. 6, а). Соотношение фаций в разрезе и состав осадков показаны на рис. 6, б, в. Проработка осадков вдольсклоновыми течениями привела к формированию вблизи склона мощного и однородного пласта крупнозернистых песчаников с улучшенными коллекторскими свойствами. Однако вторичная кальцитизация на стадии эпигенеза привела к ухудшению свойств коллектора (например, в скв. Пх-8). По мере удаления от склона возможно улучшение качества коллекторов, несмотря на их меньшую гранулометрическую зрелость.

После формирования пласта АчНхIV регрессивный этап сменился трансгрессивным, о чем свидетельствует маломощная пачка аргиллитов, залегающая между пластами АчНхIV и АчНхIV-0. Последующая тектоническая активизация территории привела к возобновлению сноса песчано-алевролитового материала, основным поставщиком которого были те же подводные каналы, что и для пласта АчНхIV (см. рис. 3), однако объем переносимых осадков

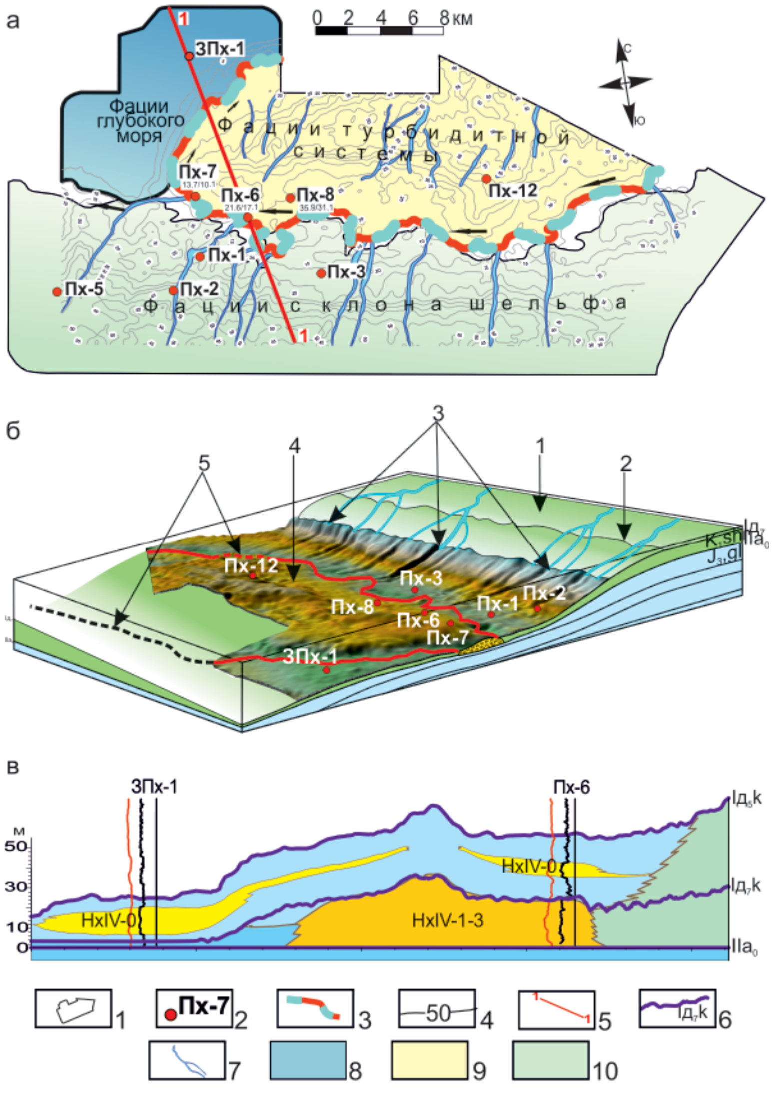


Рис. 6. Реконструкции формирования пласта АчНхIV: а – фациальная, б – палеогеографическая (1 – шельф; 2 – бровка шельфа; 3 – каналы турбидитных потоков; 4 – турбидитная система АчНхIV; 5 – предполагаемые границы области распространения турбидитной системы АчНхIV); в – геолого-геофизический разрез по линии 1–1’

1 – полигон картопостроения (контур сейсморазведочных работ 3D); 2 – пробуренные скважины; 3 – граница распространения турбидитной системы; 4 – изопахиты, м; 5 – линия геолого-геофизического разреза; 6 – отражающие горизонты; 7 – палеоканалы интенсивных турбидитных потоков; фации: 8 – глубокого моря (глины, алевритистые глины застойных зон), 9 – турбидитных систем (чередование песков, алевролитов и глин), 10 – склона шельфа (преимущественно алевролитовые глины, в подводящих каналах турбидитных потоков – переслаивание песков, алевролитов и глин)

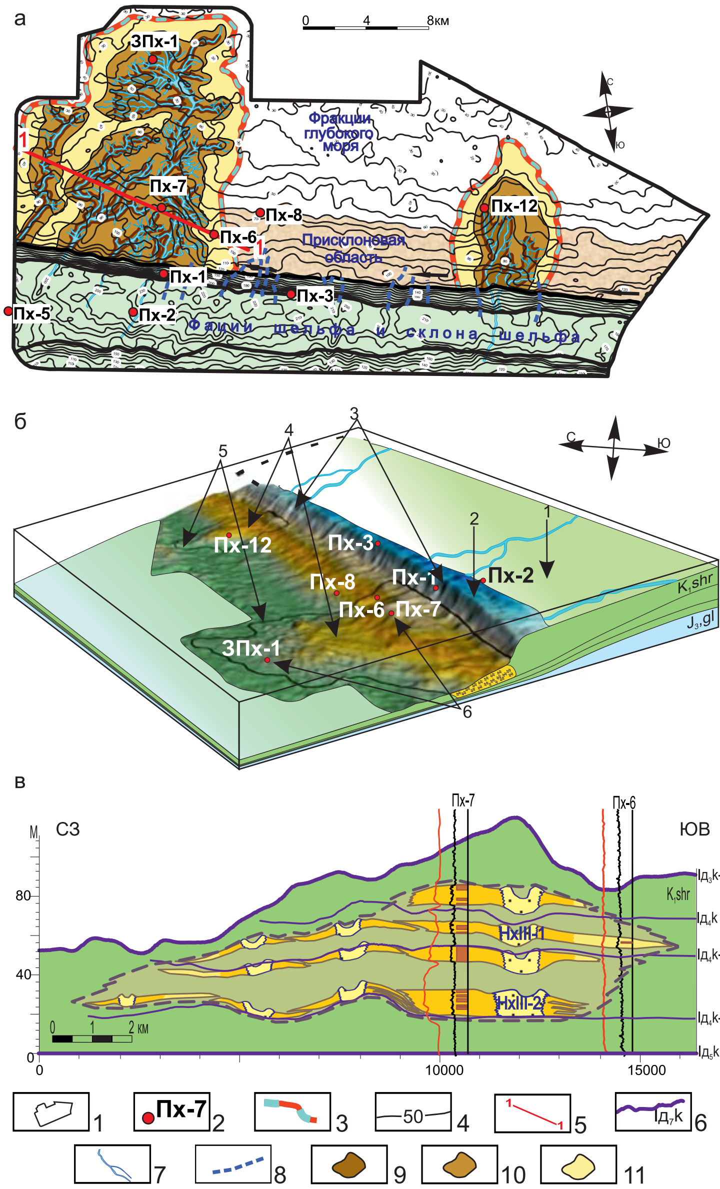


Рис. 7. Реконструкции формирования пласта АчНхIII: а – фациальная, б – палеогеографическая (1 – шельф; 2 – бровка шельфа; 3 – каналы турбидитных потоков; 4 – турбидитная система АчНхIII; 5 – предполагаемые границы области распространения турбидитной системы АчНхIII); в – геолого-геофизический разрез по линии 1–1’

1 – полигон картопостроения (контур сейсморазведочных работ 3D); 2 – пробуренные скважины; 3 – граница области распространения турбидитной системы; 4 – изопахиты, м; 5 – линия геолого-геофизического разреза; 6 – отражающие горизонты; 7 – палеоканалы интенсивных турбидитных потоков, сформировавших выраженные конусы выноса; 8 – прочие палеоканалы; 9–11 – фации турбидитных систем, чередование песков, алевролитов и глин, части конусов выноса: 9 – проксимальная, 10 – средняя, 11 – дистальная

значительно уменьшился. Это подтверждается небольшими толщинами пласта АчНхIV-0, приуроченного к 2-й клиноформе. При этом распределение толщин и качества коллекторов этого пласта контролировалось палеорельефом дна бассейна седиментации, который, в свою очередь, в значительной степени обусловлен распределением толщин пласта АчНхIV.

На участке наибольшей мощности пласта АчНхIV за счет неравномерного уплотнения грубозернистых осадков и глин образовалось «седиментационное» поднятие, служившее барьером на пути транспортировки более поздних осадков. Перед барьером энергия турбидитных потоков снижалась с выпадением наиболее крупнозернистых разностей. В местах наименьшей толщины пласта АчНхIV (или его отсутствия) возникли палеоложбины, куда и сносился обломочный материал, т. е. чем больше толщина пласта АчНхIV, тем меньше толщина пласта АчНхIV-0 (вплоть до его исчезновения). Данный вывод подтверждается во всех скважинах, в которых вскрыт этот пласт. Его наибольшая толщина зафиксирована в скв. ЗПх-1, где отсутствует пласт АчНхIV. Следовательно, распространение улучшенных коллекторов пласта АчНхIV-0 следует ожидать в зонах выклинивания пласта АчНхIV и вблизи палеосклона, где осадки проработаны вдольсклоновыми течениями. Взаимоотношения пластов НхАЧIV1–3 и НхАЧIV-0 показаны на рис. 6, в.

Объемная палеогеоморфологическая модель турбидитной системы АчНхIII и соответствующая литолого-фациальная схема приведены на рис. 7. На объемной модели, построенной на основе карты толщин, четко выделяются два конуса выноса, которые хорошо отображаются и в сейсмических атрибутах (рис. 8). «Западный» конус выноса был сформирован тремя основными каналами, один из которых соответствует современному руслу р. Пайяха, а «восточный» – двумя. На основе анализа срезов атрибута «когерентность» для турбидитной системы пласта АчНхIII построены прогнозные схемы распределения питающих каналов и лопастей, что позволяет с учетом опубликованных данных прогнозировать следующие основные фациальные зоны пласта АчНхIII (см. рис. 7, а). Проксимальная зона соответствует головной части конуса выноса по В. С. Муромцеву [13, 17]. Отложения представлены мелко- и среднезернистыми средне- и плохоотсортированными песчаниками, глинистыми обломками. Наиболее крупнозернистый материал проксимальной части осаждается в руслах и вблизи русел в виде намывных валов, в устьях питающих каналов. Средняя зона, сложенная средне- и мелкозернистыми песчаниками, алевролитами в сети меандрирующих и ветвящихся распределительных каналов и глинами в лопастях, соответствует основной части конуса выноса по В. С. Муромцеву. Дистальная зона соответствует краевому конусу выноса по В. С. Муромцеву. Отложения представлены средне- и мелкозернистыми песчаниками, алевролитами и глинами и являются осадками зоны заполнения между отдельными лопастями конусов выноса. Отложения глубоководного бассейна развиты за контуром конусов выноса, представлены преимущественно аргиллитами с прослоями алевролитов и реже мелкозернистых песчаников. У подножья склона возможно накопление песков в виде небольших намывных валов за счет «плоскостного смыва» и проработки вдольсклоновыми течениями.

Анализ условий формирования пластов группы АчНх Пайяхского месторождения показывает весьма сложное их строение, что предопределяет и сложный характер распределения коллекторов. Все пласты отделены друг от друга значительными по мощности пачками аргиллитов, которые могут быть надежными покрышками, т. е. в каждом из пластов возможны самостоятельные литологически ограниченные линзовидные ловушки, содержащие залежи нефти. В современном структурном плане такие песчаные линзы залегают на моноклинали, что затрудняет оконтуривание соответствующих ловушек. Для установления их контуров использовались разнообразные атрибуты волнового поля и карты толщин. Пласт АчНхIV хорошо отображается в атрибутах волнового поля, и его выделение не вызывает затруднений, что объясняется значительным отличием акустиче-

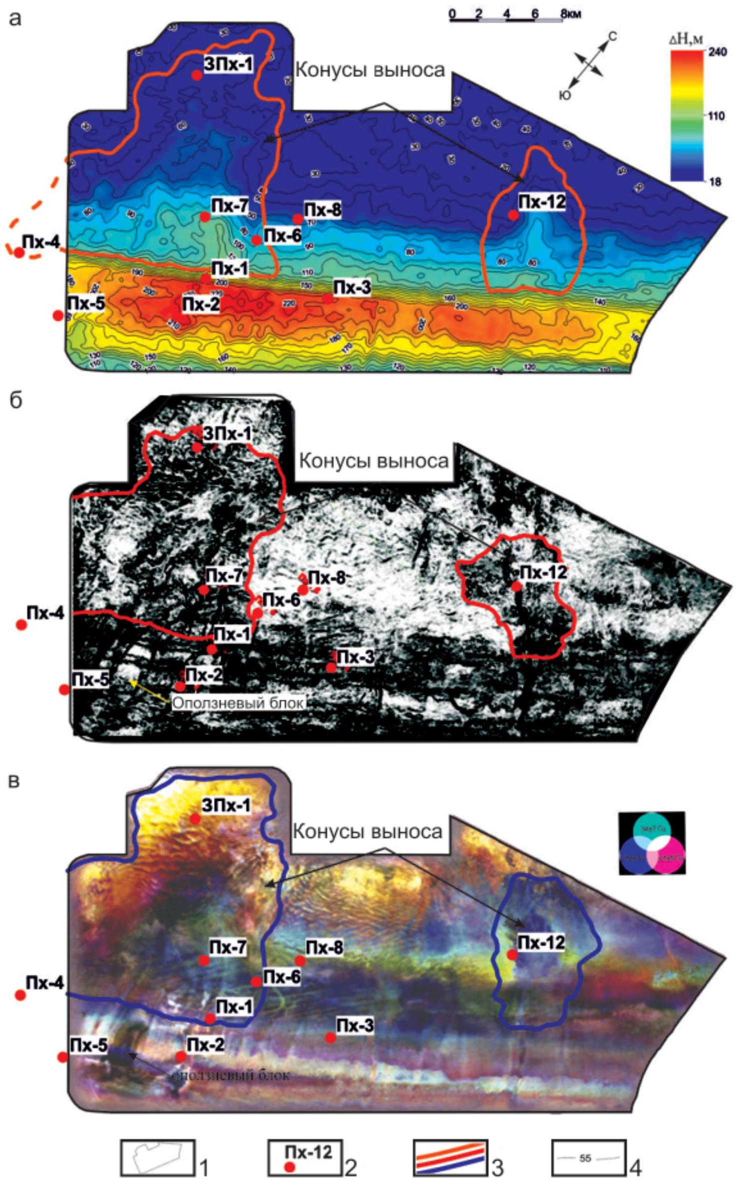


Рис. 8. Отображение турбидитной системы АчНхIII: а – на карте толщин; б – на срезе атрибута «когерентность»; в – на срезе атрибута «спектральное разложение»

1 – полигон картопостроения (контур сейсморазведочных работ 3D); 2 – пробуренные скважины; 3 – соответствующие границы области распространения турбидитной системы, намеченные с использованием перечисленных методов прогноза; 4 – изопахиты, м

Рис. 9. Фрагмент карты толщин пласта АчНхIII

1 – полигон картопостроения (контур сейсморазведочных работ 3D); 2 – пробуренные скважины; 3 – граница распространения турбидитной системы; 4 – изопахиты, м

ских свойств «ачимовских» песчаников и аргиллитов [9, 18, 19].

Кроме ловушек в конусах выноса впервые выявлено наличие залежей шнуркового типа в подводящих каналах на склоне шельфа. Продуктивность песчаников, приуроченных к таким палеоканалам и генетически связанных с пластом АчНхIV, доказана результатами бурения скважин Пх-1, 2. Длина десяти наиболее крупных каналов изменяется от 5,2 км (10-й канал) до 12 км (1-й канал), ширина каналов от 300 м до 1 км (см. рис. 3). Толщина коллекторов в палеоканалах составляет 6,3 м (см. таблицу, скв. Пх-1, 2). Значительные дебиты нефти в скв. Пх-1 (более 30 м^3/сут) свидетельствуют о хороших ФЕС коллекторов.

Продуктивные пласты АчНхIII связаны с ярко выраженными конусами выноса 3-й клиноформы, их нефтеносность подтверждена результатами испытаний скважин 3Пх-1, Пх-12. Из-за близости акустических свойств песчаников и вмещающих их карбонатизированных аргиллитов, пласты АчНхIII, II, I в целом хуже выражены в атрибутах волнового поля. Конусы выноса хорошо отображаются в толщинах и атрибутах «когерентность», «спектральная декомпозиция», на основе которых установлены границы распространения пластов (рис. 8, 9). Всего выделены три конуса выноса, площади которых меняются от 75 до 200 км².

Продуктивные пласты АчНхII и АчНхI вскрыты скв. 3Пх-1 и связаны с конусами выноса 4-й

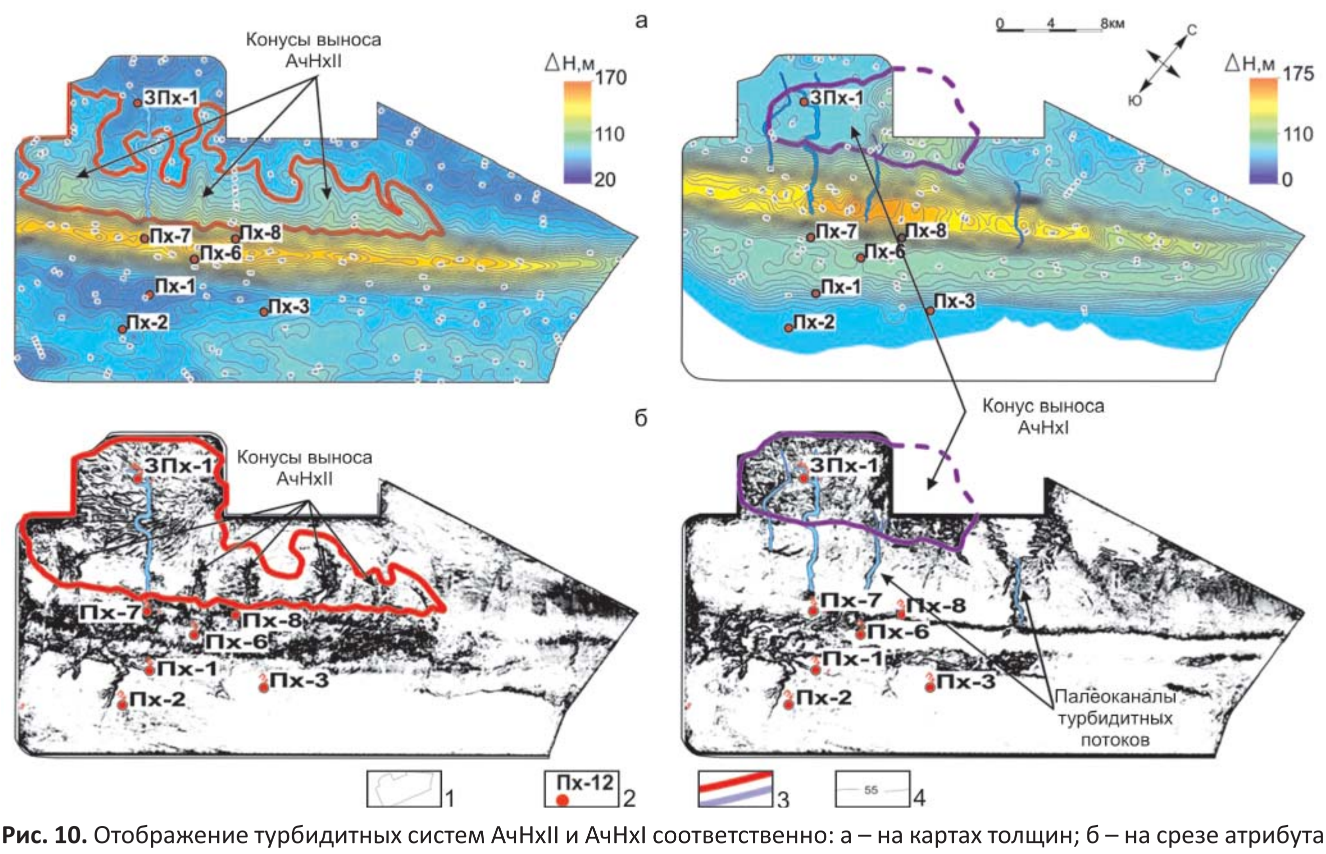


Рис. 10. Отображение турбидитных систем АчНхII и АчНхI соответственно: а – на картах толщин; б – на срезе атрибута «когерентность»

1 – полигон картопостроения (контур сейсморазведочных работ 3D); 2 – пробуренные скважины; 3 – границы областей распространения турбидитных систем АчНхII и АчНхI, намеченные с использованием перечисленных методов прогноза; 4 – изопахиты, м

и 5-й клиноформ. Пласты оконтурены по картам толщин и атрибуту «когерентность» (рис. 10). Пласт АчНхII образует сложно построенное в разрезе и по простиранию песчаниковое тело переменной толщины, сформированное несколькими конусами выноса, имеет средние размеры 8×30 км, площадь более 200 км². Пласт АчНхI приурочен к единичному (размер 7×8 км и площадью около 50 км²) конусу выноса 5-й клиноформы. Северная граница пласта выходит за рамки площади 3D.

Таким образом, на современном этапе изученности можно говорить о том, что выработанная методика позволяет с высокой степенью достоверности определить границы залежей Пайяхского месторождения и прогнозировать аналогичные ловушки в пределах одноименной ЗНН.

Яновстанско-шуратовская углеводородная система

Ранее на основании результатов комплексных геохимических исследований проб газа, нефти и битумоидов из образцов пород шуратовской и яновстанской свит (скважины Пх-2, СПх-7, 8, ЗПх-1), включающих изучение особенностей молекулярного, изотопного состава, Rock-Eval пиролиз, хромато-масс-спектрометрический анализ, было показано [11], что обогащенные ОВ сапропелевого типа интервалы в составе яновстанской свиты наиболее близки к нефти, полученной при испытании песчаников шуратовской свиты. Таким образом была определена и достоверно установлена (в терминологии Н. В. Лопатина [14]) яновстанско-шуратовская УВ-система.

Количество $C_{орг}$ на данной стадии преобразованности ОВ яновстанской и гольчихинской свит изменяется от 0,74 до 2,98 %, в среднем 1,51 %. Генерационый потенциал (S_1+S_2) варьирует от 1,0 до 10,7 мг УВ/г породы. Интервалы, обогащенные сапропелевым ОВ, характеризуются повышенным относительно фоновых значений водородным индексом (до 280 мг УВ/г TOC). Аквагенный тип РОВ подтверждается характером распределения нормальных алканов, соотношением стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}C$), а также присутствием органических мацералов липтинитовой группы.

Реконструкции температурной истории и истории термокаталитического преобразования РОВ показали, что нефтегазоматеринские отложения яновстанской и гольчихинской свит Пайяхской ЗНН вошли в главную зону нефтеобразования в конце позднего мела [4, 7, 10, 12, 15]. Рассчитанные значения T и R_o достигли максимальных значений в эоцене. К этому же периоду геологической истории относятся максимальная скорость генерации жидких углеводородов и активное проявление миграционных процессов, формирование залежей нефти. Начиная с олигоцена и в течение всего неогена в связи с воздыманием территории рост температур в осадочном чехле прекратился, замедлились процессы генерации углеводородов. На новейшем этапе геологической истории из-за формирования многолетнемерзлых пород и мощных ледовых покровов пластовые температуры уменьшились на 10–20 °С, генерация временно приостановилась и все геологические процессы в УВ-системе свелись к переформированию или диссипации залежей.

Отмеченная особенность миграционно-дренажного пространства (вертикальная направленность эмиграционного потока с последующим перераспределением УВ внутри линзовидных шуратовских резервуаров) исключает дальнюю латеральную миграцию, определяет наличие АВПД и позволяет предположить, что перспективность отдельных литологически экранированных «ачимовских» резервуаров определяется степенью реализации нефтематеринского потенциала отложений яновстанской свиты, непосредственно их подстилающих. Судя по углепетрографическим данным, нефтегазоматеринские отложения до глубин 4,0 км еще не вышли из ГЗН, а верхняя ее граница расположена на глубинах от 2,5 (Мессояхско-Малохетская гряда) до 3,3 км (Пуринская моноклиналь). С учетом имеющихся данных о катагенетической преобразованности РОВ установлено, что наибольшей степенью реализации нефтематеринского потенциала в границах территории исследований характеризуется территория ЦТМ, включающая и район Танамской структурной террасы. Рассмотрев несколько вариантов построенных в разные годы разными исследователями карт изоресплендвитринита, фактически отражающих преобразованность РОВ в эоценовую эпоху, на которую приходится наиболее активная фаза нефтеобразования, мы уточнили северную границу Пайяхской ЗНН на участках, недостаточно охарактеризованных бурением. Итоговые границы Пайяхской зоны нефтенакопления приведены на рис. 11.

Ресурсная база Пайяхской ЗНН и основные направления геолого-разведочных работ

С учетом всего изложенного Пайяхская зона нефтенакопления (максимальный размер 300×170 км и площадь около 30000 км²) выделена авторами в западной части ЕХРП (см. рис. 11). Южная граница зоны проведена по границе клиноформного комплекса (бровка шельфа первой клиноформы); северная – с учетом прогозной степени преобразованности РОВ НГМТ яновстанской и гольчихинской свит, что соответствует глубинам 3300–3400 м; восточная – в области окончания развития типичных клиноформ ЕХРП [18]; западная – по условной границе ЕХРП и Западно-Сибирского бассейна.

В результате комплексных геолого-геофизических исследований установлены критерии прогноза несводовых, литологически экранированных ловушек «ачимовского» типа в составе шуратовской свиты, а также выполнен прогноз зон распространения пластов группы АчНх Пайяхской ЗНН в право-

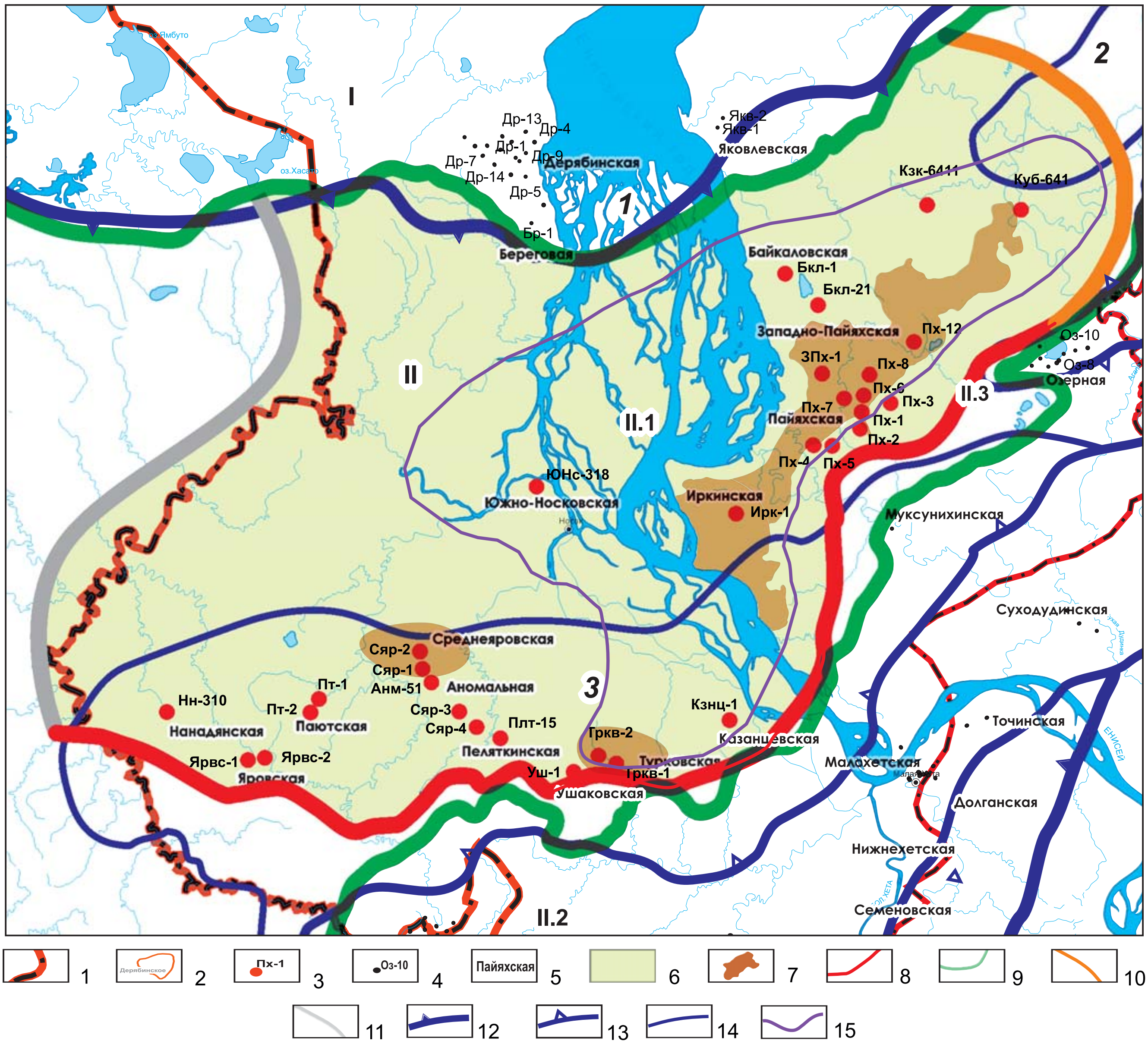


Рис. 11. Пайяхская зона нефтенакопления (ареал зон нефтенакопления)

1 – административные границы; 2 – выявленные месторождения; скважины: 3 – вскрывшие пласты группы АчНх с АВПД, 4 – прочие; 5 – площади поисково-разведочных работ; 6 – Пайяхская ЗНН; 7 – открытые месторождения в границах Пайяхской ЗНН; границы Пайяхской ЗНН: 8 – южная, соответствующая бровке шельфа первой клиноформы, 9 – северная, соответствующая границе главной зоны нефтеобразования для НГМТ яновстанской и гольчихинской свит,10 – восточная, соответствующая границе развития клинофрмных отложений, 11 – западная (условная); границы структурных элементов: 12 – надпорядковых (внешнего пояса: I – Южно-Таймырская моноклиналь; внутренней области: II – Енисей-Хатангский прогиб), 13 – первого порядка (II.1 – Центрально-Таймырский мегапрогиб, II.2 – Мессояхско-Малохетская гряда, II.3 – Рассохинский мегавал), 14 – второго порядка (1 – Дерябинский мегавыступ, 2 – Агапский прогиб, 3 – Танамская структурная терраса); 15 – границы Приенисейской области приоритетных ГРР

бережной части р. Енисей на основе интерпретации более 15000 км разрезов ОГТ-2D и 700 км² ОГТ-3D. Здесь на основании анализа карт толщин и атрибутов «амплитуда», «когерентность», «спектральное разложение» и др. выделены две области развития пласта АчНхIV: южная (включающая Пайяхское месторождение) и северная (рис. 12, а). Максимально оцененные размеры южной области, достигают 14×56 км, северной 15×65 км, их площади составляют 940 и 740 км² соответственно. Наиболее достоверно границы определены в пределах площади 3D, тем не менее надежность прогноза по редкой сети профилей сейсморазведки 2D также оказалась весьма высокой, что подтверждается скважинами Куб-6410 и Кзк-6411, пробуренными в прогнозируемых ранее [9, 18] областях развития «ачимовских» природных резервуаров (см. рис. 12, в).

В 2018 г. для подтверждения прогнозной области повышенных нефтенасыщенных толщин пласта АчНхIV на северо-восточной периферии Пайяхского месторождения была заложена разведочная скв. Пх-12. По результатам бурения и интерпрета-

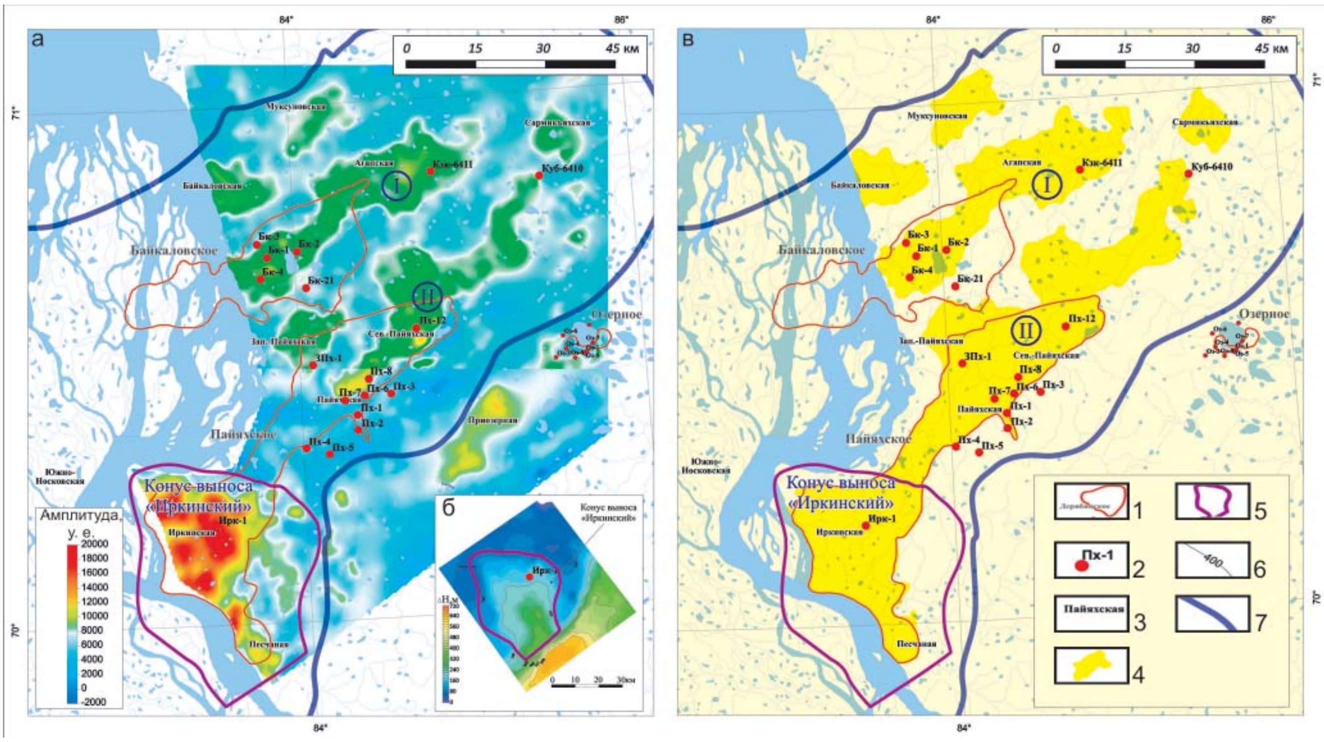


Рис. 12. Карта атрибута «амплитуда», построенная по ОГ IIa0 (подошва пласта АчНхIV) (а); фрагмент карты толщин турбидитной системы АчНхIV (б); Иркинский конус выноса, сформированный ПротоЕнисеем; карта залежей и перспективных объектов Пайяхской зоны нефтенакопления на правобережье р. Енисей (в) (I – северная область развития песчаных тел группы АчНх, II – южная область)

1 – выявленные месторождения; 2 – пробуренные скважины; 3 – площади поисково-разведочных работ; 4 – залежи и перспективные объекты Пайяхской зоны нефтенакопления; 5 – контуры Иркинского конуса выноса; 6 – изопахиты, м; 7 – границы Пайяхской зоны нефтенакопления

ции ГИС в разрезе выделены четыре продуктивных пласта суммарной нефтенасыщенной толщиной 96 м. В том же году было начато бурение поисковой скважины на Иркинской площади, где на основании динамического анализа материалов сейсморазведки прогнозировалось распространение песчаников ачимовского типа, аналогичных продуктивным песчаникам на Пайяхском месторождении [30]. Иркинская скв. 1 была закончена бурением в марте 2019 г. По результатам интерпретации ГИС выделено более 114 м нефтенасыщенных коллекторов в составе шуратовской свиты. После гидроразрыва пласта получены кратковременные притоки нефти дебитом до 720 м³/сут. После переинтерпретации данных сейсморазведки 2D, включая профили, отработанные в последние годы в акватории р. Енисей, установлено, что Иркинская скв. 1 пробурена в пределах крупного конуса выноса, хорошо выделяемого на карте толщин (см. рис. 12, б). Согласно выполненному оперативному подсчету запасов нефти Иркинская площадь вошла в состав Пайяхского месторождения, извлекаемые запасы нефти которого в апреле 2019 г. были утверждены Государственой комиссией по запасам Роснедра в объеме более 1,2 млрд т.

Отдельно следует остановиться на особенностях формирования Иркинского конуса выноса, охарактеризованного скв. Ирк-1. Учитывая наметившуюся связь современных речных потоков с древней сетью питающих каналов, можно предположить, что данный конус, имеющий размеры 32×47 км и площадь свыше 1300 км², мог быть сформирован только крупным водным потоком – **Прото-Енисеем**. По нашему мнению, это обусловлено взаиморасположением источников сноса и областей седиментации в раннемеловое время. Как известно, с рубежом юры и мела связан первый этап формирования положительных структур ЕХРП. Обломочный материал, поступающий с Сибирской платформы, осаждался перед крупными барьерами – Рассохинским валом и Мессояхско-Малохетской грядой. Таким образом, на большей части территории ЕХРП седиментация в раннемеловое время происходила за счет локального размыва сводовых частей указанных структур, что подтверждается материалами бурения (уничтожена большая часть верхнеюрских отложений) и сейсморазведки (неокомские клиноформные толщи развиты севернее Рассохинского вала, а Мессояхско-Малохетская гряда разделяет западносибирские клиноформы субмеридионального и таймырские клиноформы субширотного простирания).

Судя по установленному распределению толщин песчаников, единственный участок протяженностью до 120 км, где был беспрепятственный транзит обломочного материала с Сибирской платформы в центральные районы ЕХРП, расположен между Долганским и Дудыптинско-Жданихинским компенсационными прогибами [19]. На западе данного участка протекает р. Енисей, вдоль которой отмечены наибольшие толщины «ачимовских» песчаников: на Иркинской площади 114 м, на Южно-Носковской более 80 м, на Дерябинской до 70 м, на Байкаловской до 50 м. Повышенные толщины следует также ожидать в пределах установленного мини-бассейна седиментации (см. рис. 3, а), куда беспрепятственно осуществлялся транзит обломочного материала с Сибирской платформы.

Область распространения повышенных толщин (см. рис. 11), назовем ее Приенисейской, является приоритетной. Здесь целесообразно сосредоточить поисково-разведочные работы на поиск залежей нефти.

Поскольку залежи нефти, аналогичные выявленным на Пайяхском месторождении, ожидаются на всей территории Пайяхской ЗНН, нами выполнена оценка ресурсной базы территории исследований по аналогии с хорошо изученным районом правобережья р. Енисей. Как уже отмечено, извлекаемые запасы и ресурсы этого района площадью около 5000 км^2, локализованные в границах Пайяхского месторождения и на прилегающей территории северной и южной перспективных областей, составляют 1,5 млрд т. Простые расчеты показывают, что потенциал нефтеносности Пайяхской ЗНН, площадью около 30000 км^2, может достигнуть 5 млрд т (извлекаемые). С целью локализации первоочередных объектов поисковых работ (помимо Приенисейского направления), целесообразно провести переинтерпретацию геолого-геофизических материалов в границах всей зоны (более 31000 пог. км сейсморазведки, выполненной в том числе в акватории р. Енисей, данные бурения более 50 скважин) с выделением и картированием отдельных клиноформ, что позволит выявить ловушки, локализованные в основании клиноформного комплекса на основании перечисленных в настоящей работе критериев.

Выводы

По результатам комплексного обобщения накопленной геолого-геофизической и геохимической информации, изучения керна и пластовых флюидов можно говорить о выявлении на Таймыре новой крупной (около 30000 км^2) зоны нефтенакопления, которая представлена совокупностью залежей и перспективных объектов в несводовых, литологически экранированных ловушках в составе шуратовской свиты нижнего мела, связанных с песчано-алевритовыми пластами «ачимовского типа», локализованными вдоль подножья проградирующего склона неокомского бассейна. С учетом масштабов Пайяхской ЗНН можно говорить об ареале зон нефтенакопления, однако на данном этапе изученности это, по-видимому, преждевременно.

Условия формирования залежей Пайяхской ЗНН, как выявленных, так и прогнозируемых, едины и обусловлены эмиграцией углеводородных флюидов в «ачимовские» линзовидные резервуары из непосредственно подстилающих их нефтегазоматеринских толщ яновстанской и гольчихинской свит, находящихся в главной зоне нефтеобразования. Такая особенность миграционно-дренажного пространства способствует образованию АВПД, отмеченному в скважинах Пайяхской ЗНН.

В наиболее изученном районе зоны на правобережье р. Енисей на основании сейсмостратиграфического анализа и анализа динамических характеристик сейсмической записи определены крупные поисковые объекты, аналогичные по геологическому строению Пайяхскому нефтяному месторождению. Их последующее опоискование позволит обеспечить существенный (более 1 млрд т) прирост извлекаемых запасов нефти.

Выделение Пайяхской ЗНН подтвердило высокие перспективы нефтеносности Енисей-Хатангского прогиба, считавшегося ранее (И. С. Грамбергом, А. Э. Конторовичем и др., В. С. Старосельцевым и др.) преимущественно газоносным. Начальные суммарные ресурсы нефти территории исследований предварительно оценены нами в 5 млрд т (извлекаемых), однако уже сегодня можно сказать, что с учетом региональных характеристик низкопроницаемых «ачимовских» коллекторов таймырская нефть будет трудноизвлекаемой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Барабошкин Е. Ю.** Практическая седиментология. Терригенные резервуары. Пособие по работе с керном. – Тверь: ГЕРС, 2011. – 152 с.

2. **Болдушевская Л. Н.** Геохимические критерии прогноза нефтегазоносности мезозойских отложений Енисей-Хатангского регионального прогиба и северо-востока Западно-Сибирской плиты: автореф. дис. ... к. г.-м. н. – Красноярск: КНИИГиМС, 2001. – 22 с.

3. **Взаимосвязь** материнских пород и нефтей в мезозойских отложениях северо-востока Западно-Сибирской плиты на основе изучения углеводородов-биомаркеров и катагенеза органического вещества / Ю. А. Филипцов, И. В. Давыдова, Л. Н. Болдушевская и др. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2006. – № 5–6. – С. 52–57.

4. **Ботнева Т. А., Фролов С. В.** Условия образования углеводородных скоплений в осадочном чехле Енисей-Ленской системы прогибов // Геология нефти и газа. – 1995. – № 5. – С. 32–38.

5. **Геологические** условия формирования и размещения зон нефтегазонакопления / А. А. Бакиров, Э. А. Бакиров, Л. П. Мстиславская и др.; под ред. А. А. Бакирова. – М.: Недра, 1982. – 238 с.

6. **Геология** нефти и газа Сибирской платформы / А. С. Анциферов, В. Е. Бакин, И. П. Варламов

и др.; под ред. А. Э. Конторовича, В. С. Суркова, А. А. Трофимука. – М.: Недра, 1981. – 552 с.

7. **Геохимические** критерии нефтегазоносности севера Сибирской платформы / И. Д. Полякова, М. М. Колганова, Е. И. Соболева, Г. Ф. Степаненко // Геология и нефтегазоносность Енисей-Хатангского бассейна. – М.: Наука, 1983. – С. 119–132.

8. **Гурари Ф. Г.** Строение и условия образования клиноформ неокомских отложений Западно-Сибирской плиты (история становления представлений). – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2003. – 141 с.

9. **Исаев А. В., Кринин В. А., Карпухин С. М.** Перспективы нефтегазоносности клиноформного комплекса Енисей-Хатангского регионального прогиба // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2015. – Т. 10, № 3. – Точка доступа: http://www.ngtp.ru/rub/4/31_2015.pdf.

10. **Историко-геологическое** моделирование процессов нафтидогенеза в мезозойско-кайнозойском осадочном бассейне Карского моря / А. Э. Конторович, Л. М. Бурштейн, Н. А. Малышев и др. // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 8. – С. 1179–1226.

11. **Климова Е. Н., Кучерявенко Д. С., Поляков А. А.** Новые данные об условиях формирования резервуаров Пайяхского месторождения и перспективы их нефтеносности на территории Нижнеенисейского нефтегазоносного района // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2018. – Т. 13, № 1. – Точка доступа: http://www.ngtp.ru/rub/4/4_2018.pdf.

12. **Конторович В. А., Ершов С. В.** Нефтегазовый резерв Западной Сибири // Наука из первых рук. – 2010. – № 3 (33). – С. 26–29.

13. **Локальный** прогноз песчаных тел ловушек нефти и газа путем комплексирования методов электрометрической геологии и сейсмической стратиграфии в отложениях с клиноформным залеганием пород / В. С. Муромцев, А. В. Журавлева, Л. Д. Неуймина, Г. В. Петрова // Комплексирование геологических и геофизических методов исследований при поисках несводовых ловушек и залежей углеводородов в Западной Сибири. – Л.: Недра, 1989. – С. 90–104.

14. **Лопатин Н. В., Зубайраев С. Л.** Нефтяные генерационно-аккумуляционные системы: логика концепции и ее применение в поисково-разведочных работах // Геоинформатика. – 2000. – № 3. – С. 67–82.

15. **Моделирование** процессов генерации, миграции и аккумуляции углеводородов в юрских и меловых комплексах Енисей-Хатангского бассейна / П. И. Сафронов, С. В. Ершов, Н. С. Ким, А. Н. Фомин // Геология нефти и газа. – 2011. – № 5. – С. 48–55.

16. **Муромцев В. С.** Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа. – Л.: Недра, 1984. – 259 с.

17. **Новые** направления геолого-разведочных работ на западе Енисей-Хатангского прогиба (правобережье Енисея) / А. А. Поляков, А. В. Исаев, С. М. Карпухин, Е. В. Фомина // Науч.-техн. вестн. ОАО «НК «Роснефть». – 2012. – № 1. – С. 2–6.

18. **Перспективные** нефтегазоносные объекты клиноформного комплекса Енисей-Хатангского регионального прогиба: результаты сейсмогеологического моделирования / А. В. Исаев, В. А. Кринин, Ю. А. Филипцов и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2011. – № 2 (6). – С. 74–82.

19. **Перспективы** нефтегазоносности Енисей-Хатангского регионального прогиба // А. В. Исаев, В. П. Девятов, В. А. Кринин, С. М. Карпухин // Геология нефти и газа. – 2010. – № 4. – С. 15–25.

20. **Поляков А. А.** Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности юрских и меловых отложений северо-западного обрамления Сибирской платформы: автореф. дис. … к. г.-м. н. – М.: МГУ, 2013. – 23 с.

21. **Предложения** по уточнению региональной стратиграфической схемы мезозойских отложений Западно-Сибирской равнины (Ханты-Мансийский автономный округ и сопредельные территории) / С. Л. Белоусов, В. Ф. Гришкевич, В. Г. Елисеев и др. // Геология нефти и газа. – 2001. – № 2. – С. 57–62.

22. **Приобская** нефтеносная зона Западной Сибири: Системно-литмологический аспект / Ю. Н. Карогодин, С. В. Ершов, В. С. Сафонов и др. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1996. – 252 с.

23. **Прищепа О. М.** Зоны нефтегазонакопления – методические подходы к их выделению, обеспечивающие современное решение задач отрасли // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2008. – Т. 3, № 2. – Точка доступа: http://www.ngtp.ru/rub/12/14_2008.pdf.

24. **Решение** 5-го межведомственного регионального стратиграфического совещания по мезозойским отложениям Западно-Сибирской равнины / под ред. И. И. Нестерова. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1991. – 54 с.

25. **Селли Р. Ч.** Древние обстановки осадконакопления. – М.: Недра, 1989. – 294 с.

26. **Стратиграфический** словарь мезозойских и кайнозойских отложений Западно-Сибирской низменности / под ред. Н. Н. Ростовцева. – Л.: Недра, 1978. – 183 с.

27. **Тектоника** и этапы геологической истории Енисей-Хатангского бассейна и сопряженного Таймырского орогена / А. П. Афанасенков, А. М. Никишин, А. В. Унгер и др. // Геотектоника. – 2016. – № 2. – С. 23–42.

28. **Трофимук А. А., Карогодин Ю. Н., Мовшович Э. Б.** Проблемы совершенствования понятийной базы геологии нефти и газа на примере понятия «зона нефтегазонакопления» // Геология и геофизика. – 1982. – № 5. – С. 5–11.

29. **Успенская Н. Ю.** Месторождения-гиганты, их значение в оценке ресурсов нефти и газа и особенности формирования // Геология нефти и газа. – 1972. – № 8. – С. 1–8.

30. **Isaev A. V., Devyatov V. P., Karpukhin S. M.** Planetary and regional aspects of development and structure of northern Siberia oil and gas bearing clinoform complexes // Proceedings of the 34th International Geological Congress. Abstracts. – 2012. – No. 1422. – P. 631.

31. **Mutti E., Normark W. R.** An integrated approach to the study of turbidite systems // Seismic facies and sedimentary processes of submarine fans and turbidite systems. Frontiers in sedimentary geology. – New York: Springer, 1991. – P. 75–106.

REFERENCES

1. Baraboshkin E.Yu. *Prakticheskaya sedimentologiya. Terrigennye rezervuary. Posobie po rabote s kernom.* [Practical sedimentology. Terrigenous reservoirs. Guide for the work with drill samples]. Tver, GERS Publ., 2011. 152 p. (In Russ.).

2. Boldushevskaya L.N. *Geokhimicheskie kriterii prognoza neftegazonosnosti mezozoyskikh otlozheniy Enisey-Khatangskogo regional'nogo progiba i severo-vostoka Zapadno-Sibirskoy plity*. *Avtoreferat kand. dis.* [Geochemical criteria for petroleum potential forecast of Mesozoic deposits of the Yenisey-Khatanga regional trough and north-east of the West Siberian Plate. Author's abstract of PhD thesis]. Krasnoyarsk, KNIIGiMS SB RAS Publ., 2001. 22 p. (In Russ.).

3. Filiptsov Yu.A., Davydova I.V., Boldushevskaya L.N., et al. [The relationship between oil source rocks and oils in Mesozoic deposits of the northeastern area of the West Siberian Plate (from study of hydrocarbons-biomarkers and catagenesis of organic matter)]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2006, no. 5–6, pp. 52–57. (In Russ.).

4. Botneva T.A., Frolov S. V. [Conditions for the formation of hydrocarbon accumulations in the sedimentary cover of the Yenisey–Lena system of deflections]. *Geologiya nefti i gaza – Oil and Gas Geology*, 1995, no. 5, pp. 32–38. (In Russ.).

5. Bakirov A.A., Bakirov E.A., Mstislavskaya L.P., Rozhkov E.L., Sudarikov Yu.A. *Geologicheskie usloviya formirovaniya i razmescheniya zon neftegazonakopleniya* [Geological conditions for the formation and migration of oil and gas accumulation areas]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 238 p. (In Russ.).

6. Kontorovich A.E., Surkov V.S., Trofimuk A.A. eds. *Geologiya nefti i gaza Sibirskoy platformy* [Oil and gas geology of the Siberian Platform]. Moscow, Nedra Publ., 1981. 551 p. (In Russ.).

7. Polyakova I.D., Kolganova M.M., Soboleva E.I., et al. [Geochemical criteria of petroleum potential of north of the Siberian Platform]. *Geologiya i neftegazonosnost' Enisey-Khatangskogo basseyna* [Geology and petroleum potential of the Yenisey-Khatanga basin]. Moscow, Nauka Publ., 1982, pp. 119–132. (In Russ.).

8. Gurari F.G. *Stroenie i usloviya obrazovaniya klinoform neokomskikh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy plity (istoriya stanovleniya predstavleniy)* [The structure and formation conditions of clinoform Neocomian deposits of the West Siberian Plate (historical establishing of concepts)]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2003. 141 p. (In Russ.).

9. Isaev A.V., Krinin V.A., Karpukhin S.M. [Prospects of oil and gas potential of the clinoform complex of the Yenisey-Khatanga regional trough]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2015, vol. 10, no. 3. Available at: http://www.ngtp.ru/rub/4/31_2015.pdf. (In Russ.).

10. Kontorovich A.E., Burnshteyn L.M., Malyshev N.A., et al. Historical-geological modeling of hydrocarbon generation in the Mesozoic–Cenozoic sedimentary basin of the Kara Sea (basin modeling). *Russian Geology and Geophysics*, 2013, vol. 54, no. 8, pp. 917–957.

11. Klimova E.N., Kucheryavenko D.S., Polyakov A.A. [New data about the reservoirs genesis of the Payyakhskoye field and prospects for their oil potential relating to Lower Yenisey Petroleum Province]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2018, vol.13, no.1. Available at: http://www.ngtp.ru/rub/4/4_2018.pdf. (In Russ.).

12. Kontorovich V.A., Ershov S.V. [Petroleum resource stock pile of West Siberia]. *Nauka iz pervykh ruk* [SCIENCE First Hand], 2010, no. 3 (33), pp. 26–29.

13. Muromtsev V.S., Zhuravleva A.V., Neuymina L.D., et al. [Local prediction of sand bodies of oil and gas traps by combining methods of electrometric geology and seismic stratigraphy in sedimentary rocks with clinoform rock occurrence]. *Kompleksirovanie geologicheskikh i geofizicheskikh metodov issledovaniy pri poiskakh nesvodovykh lovushek i zalezhey uglevodorodov v Zapadnoy Sibiri* [Integration of geological and geophysical research methods in search for non-salt dome trap and hydrocarbon accumulations in West Siberia]. Leningrad, Nedra Publ., 1989, pp. 90–104. (In Russ.).

14. Lopatin N.V., Zubayraev S.L. [Oil generation and storage systems: the logic of the concept and its application in exploration]. *Geoinformatika – Geoinformatics*, 2000, no. 3, pp. 67–82. (In Russ.).

15. Safronov P.I., Ershov S.V., Kim N.S., et al. [Modeling of generation, migration and accumulation of hydrocarbons in the Jurassic and Cretaceous sections of the Yenisey–Khatanga basin]. *Geologiya nefti I gaza – Oil and Gas Geology*, 2011, no. 5, pp. 48–55. (In Russ.).

16. Muromtsev V.S. *Elektrometricheskaya geologiya peschanykh tel – litologicheskikh lovushek nefti i gaza* [Electrometric geology of sand bodies – lithological traps of oil and gas]. Leningrad, Nedra Publ., 1984. 259 p.

17. Polyakov A.A., Isaev A.V., Karpukhin S.M., et al. [New geological exploration activities in the west of the Yenisey-Khatanga trough (right bank of the Yenisey River)]. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik OAO NK Rosneft* [Scientific and Technical Bulletin of OAO NK Rosneft], 2012, no. 1, pp. 2–6. (In Russ.).

18. Isaev A.V., Krinin V.A., Filiptsov Yu.A., et al. [Potential oil-and-gas bearing objects in the clinoform complexes of the Yenisey-Khatanga regional trough: re-

sults of seismic geological modeling]. *Geologiya i mineralno syryevye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2011, no. 2 (6), pp. 74–82. (In Russ.).

19. Isaev A.V., Devyatov V.P., Krinin V.A., et al. [Petroleum prospects of the Yenisey-Khatanga regional trough]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika,* 2010, no. 4, pp. 15–25. (In Russ.).

20. Polyakov A. A. *Geologicheskoe stroenie i perspektivy neftegazonosnosti yurskikh i melovykh otlozheniy severo-zapadnogo obramleniya Sibirskoy platformy*. *Avtoref. kand. dis.* [Geological structure and petroleum prospects of the Jurassic and Cretaceous sequences of the north-western margins of the Siberian Platform. Author’s abstract of PhD thesis]. Moscow, State University Publ., 2013. 23 p. (In Russ.).

21. Belousov S.L., Grishkevich V.F., Eliseev V.G., et al. [Proposals for revising regional stratigraphic scheme of Mesozoic deposits of the West-Siberian Plain (Khanty-Mansy Autonomous Area and adjacent territories)]. *Geologiya nefti i gaza – Oil and Gas Geology,* 2001, no. 2, pp. 57–62. (In Russ.).

22. Karogodin Yu.N., Ershov S.V., Safonov V.S., et al. *Priobskaya neftenosnaya zona Zapadnoy Sibiri: sistemno-litmologicheskiy aspekt* [Priobskaya oil zone of West Siberia: systemic lithmological aspect]. Novosibirsk, NITS OIGGiM SB RAS Publ., 1996. 252 p. (In Russ.).

23. Prishchepa O.M. [Petroleum accumulation zones-methodical approaches to their selection, providing modern problem solving of geological branch]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i practica*, 2008, vol. 3, no. 2. Available at: http://www.ngtp.ru/rub/12/14_2008.pdf. (In Russ.).

24. Nesterov I.I., ed. *Reshenie 5-go mezhvedomstvennogo regionalnogo stratigraficheskogo soveshchaniya po mezozoyskim otlozheniyam Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Decisions of the 5th Interdepartmental regional stratigraphical meeting on Mesozoic sediments of the West-Siberian Plain]. Tyumen, ZapSibNIIGNI Publ., 1991. 54 p. (In Russ.).

25. Selly R.Ch. *Drevnie obstanovki osadkonakopleniya* [Ancient sedimentation environment]. Moscow, Nedra Publ., 1989. 294 p. (In Russ.).

26. Rostovtsev N.N., ed. *Stratigraficheskiy slovar mezozoyskikh i kaynozoyskikh otlozheniy Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [Stratigraphic dictionary of Mesozoic and Cenozoic sediments of West-Siberian Lowland]. Leningrad, Nedra Publ., 1978. 183 p. (In Russ.).

27. Afanasenkov A.P., Unger A.V., Lugovaya O.V., et al. The tectonics and stages of the geological history of the Yenisey-Khatanga Basin and the conjugate Taymyr Orogen. *Geotectonics*, 2016, vol. 50, no.2, pp. 151–178.

28. Trofimuk A.A., Karogodin Yu.N., Movshovich E.B. [Problems of improving the conceptual base of oil and gas geology on the example of the concept of the “petroleum accumulation zone”]. *Geologiya i geofizika*, 1982, no. 5, pp. 5–11. (In Russ.).

29. Uspenskaya N.Yu. [Giant fields: their significance in estimation of oil and gas reserves and nature of their formation]. *Geologiya nefti i gaza – Oil and Gas Geology*, 1972, no. 8, pp. 1–8. (In Russ.).

30. Isaev A.V., Devyatov V.P., Karpukhin S.M. Planetary and regional aspects of development and structure of northern Siberia oil and gas bearing clinoform complexes. *Proceedings of the 34th International Geological Congress. Abstracts*, 2012, no. 1422, p. 631.

31. Mutti E., Normark W.R. An integrated approach to the study of turbidite systems. *Seismic facies and sedimentary processes of submarine fans and turbidite systems. Frontiers in sedimentary geology*. New York, Springer Publ., 1991, pp. 75–106.

№ 1(41) ◆ 2020

УДК (552.578.2.061.4:553.24.065):551.762(571.1)

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ КРАСНОЛЕНИНСКОГО И КАЙМЫСОВСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ РАЙОНОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Е. А. Предтеченская[1], О. Н. Злобина[2]

[1]Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия; [2]Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука, Новосибирск, Россия

Объект исследований – юрские отложения Красноленинского и Каймысовского нефтегазоносных районов Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, которые по стратиграфической полноте разрезов и масштабности проявления наложенных гидротермальных процессов могут рассматриваться как наиболее показательные. Актуальность исследований обусловлена наличием в этих толщах крупных месторождений нефти и газа. Изучены разрезы ряда скважин в диапазоне от шараповского до васюганского горизонтов включительно. Выявлены минералы-индикаторы наложенных гидротермальных процессов, установлены повышенные значения степени катагенеза пород. Высказано предположение о значительной роли растворов, обогащенных CO_2, в формировании пластов с высокими фильтрационно-емкостными свойствами. Полученные данные могут быть использованы для прогноза зон развития улучшенных коллекторов в нефтегазоносных комплексах Западно-Сибирской НГП.

Ключевые слова: *Западная Сибирь, Красноленинский, Каймысовский районы, юрские отложения, глубинные разломы, гидротермальные процессы, коллекторские свойства.*

HYDROTHERMAL PROCESSES IN JURASSIC DEPOSITS OF THE KRASNOLENINSKIY AND KAYMYSOVSKIY PETROLEUM REGIONS OF WEST SIBERIA

E. A. Predtechenskaya[1], O. N. Zlobina[2]

[1]Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia; [2]A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Novosibirsk, Russia

Jurassic sediments of the Krasnoleninskiy and Kaymysovskiy petroleum regions of the West Siberian Petroleum Province served as the exploration target because according to the stratigraphic completeness of sections and the scale of manifestation of superimposed hydrothermal processes can be considered as the most significant targets. The relevance of researches is dictated by the presence of large oil and gas fields in these strata. Sections of a number of wells were studied in the range from the Sharapovskiy to Vasyuganskiy horizons inclusive. Indicator minerals of superimposed hydrothermal processes have been identified, increased values of the catagenesis degree of rocks in the areas under consideration have been established. It was suggested that solutions enriched with CO_2 play a significant role in the formation of reservoirs with high reservoir properties. The data obtained can be used to predict development zones of improved reservoirs in petroleum plays of the West Siberian Petroleum Province.

Keywords: *West Siberia, Krasnoleninskiy, Kaymysovskiy regions, Jurassic sediments, deep-seated faults, hydrothermal processes, reservoir properties.*

DOI 10.20403/2078-0575-2020-1-40-55

К настоящему времени установлено, что катагенетическая зональность, характерная для большинства юрских разрезов Западно-Сибирского мегабассейна, заметно нарушена на ряде нефтегазоносных площадей, в пределах которых породы осадочного чехла испытали влияние наложенных гидротермальных процессов. Последние хорошо фиксируются на сейсмических разрезах в виде искажения границ, зон неопределенности и потери отражений [18, 19]. Указанные процессы, интенсивно проявлявшиеся в юрское время в Красноленинском и Каймысовском нефтегазоносных районах (НГР), отражены в масштабной вторичной минерализации (карбонатизации, каолинитизации, окварцевании и др.), которая развивалась путем метасоматического замещения исходных структурных элементов в породах и/или заполнения пор и трещин, сформировавшихся в обстановках седименто-, диа- и катагенеза, а также пустотном пространстве, образованном в результате растворения минералов под действием газотермальных флюидов (рис. 1). В таких разрезах на разных глубинах могут наблюдаться зоны разуплотнения с высокими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС) и участки с признаками активной разгрузки растворов, где коллекторские свойства пород резко ухудшаются из-за «залечивания» минеральными фазами всего объема пустотного пространства [3, 11–16].

Неоднократный пульсационный характер процессов флюидомиграции отражается в интенсивности и структурах вторичного минералообразования: в формировании двойных и множественных каемок и щеток нарастания кремнистого состава на зернах кварца, карбонатов нескольких генераций, аутигенных полевых шпатов и других минералов.

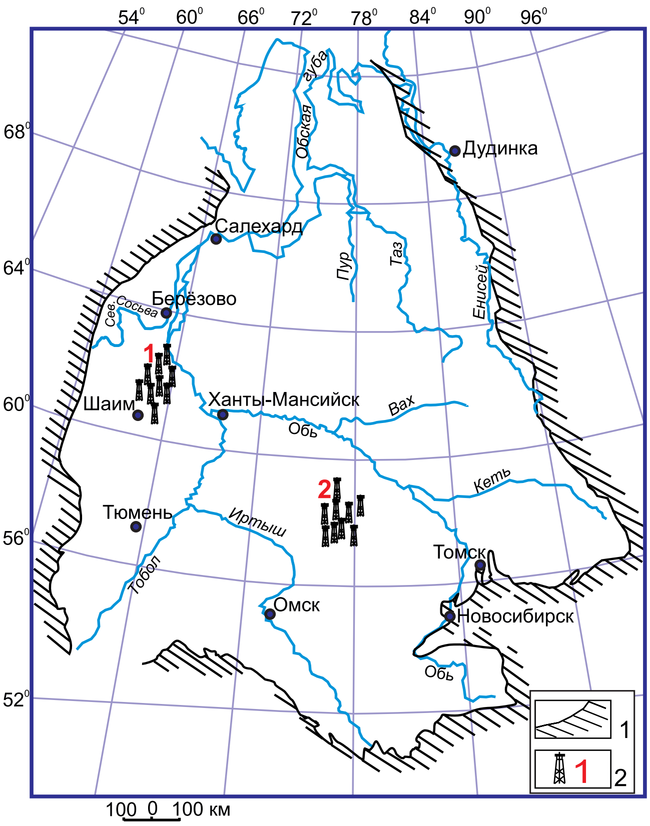


Рис. 1. Местоположение изученных районов

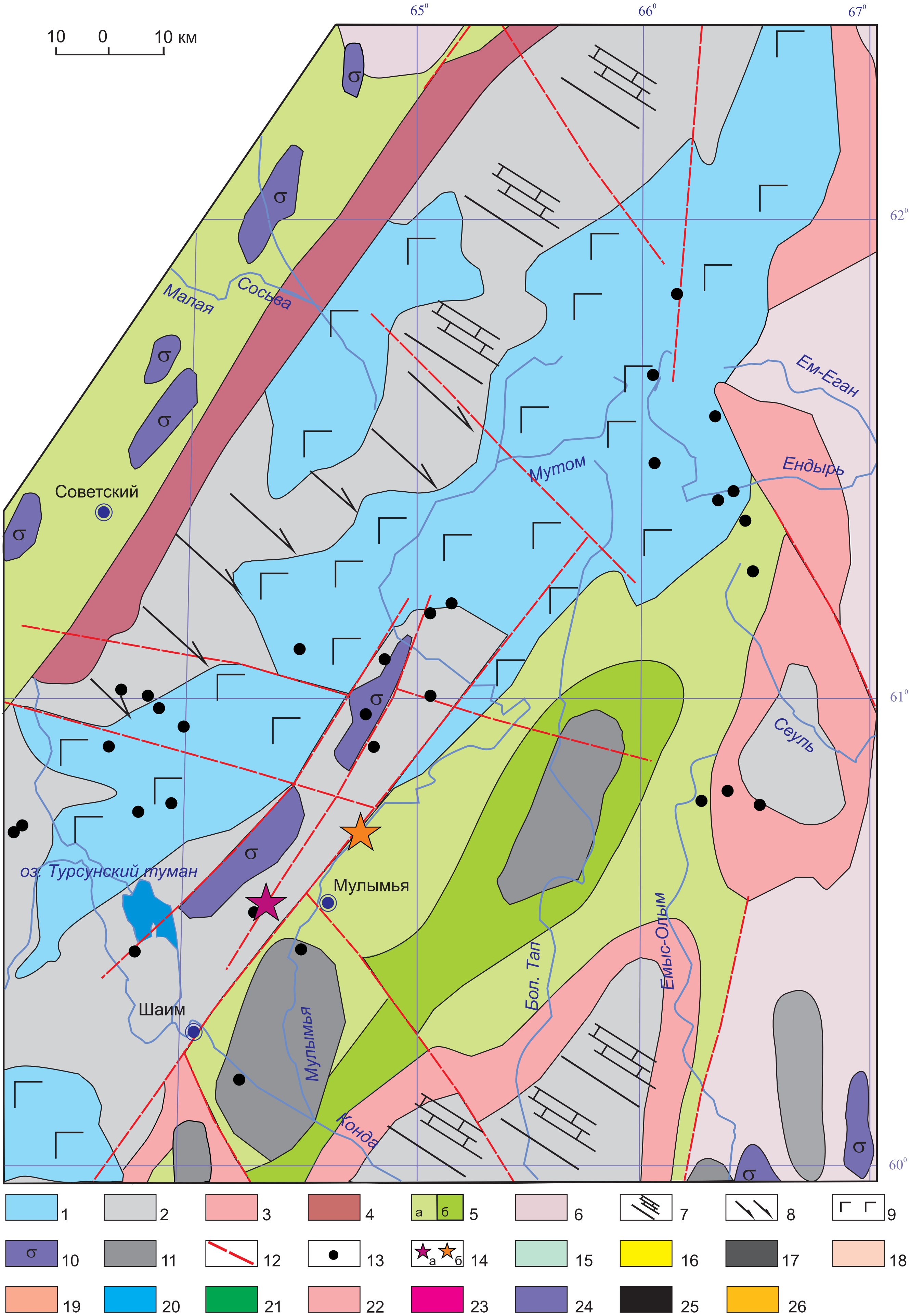
1 – граница Западно-Сибирской плиты; 2 – районы исследований (1 – Красноленинский и Шаимский, 2 – Каймысовский)

К основным критериям при определении степени влияния наложенных процессов на постседиментационные (фоновые) преобразования осадочных толщ относятся «сквозной» характер их проявления и большой вертикальный масштаб, охватывающий снизу вверх по разрезу значительные мощности отложений. При этом существенно преобразуются не только проницаемые породы (гравелиты, песчаники, алевролиты), но и глинистые флюидоупоры.

Системы трещиноватости, по ряду причин возникающие в глинистых пачках, могут служить путями для транзита растворов различного состава. В зонах их активной миграции в породах возникают горизонты выщелачивания, псевдобрекчиевые текстуры, меняется минеральный состав. Пассивные трещины залечиваются аутигенными минералами – кальцитом, кварцем, опалом, халцедоном, каолинитом и др. Так, например, в Шаимском структурно-фациальном районе (СФР) Обь-Иртышской структурно-фациальной области (СФО) на Андреевской площади в скважинах, пробуренных вдоль дизъюнктивных нарушений, в аргиллитах по всему верхнебайос-нижнеоксфордскому разрезу мощностью около 62 м (от коры выветривания доюрского основания до пачки глин георгиевского горизонта) присутствует гиббсит (рис. 2). На Убинской площади в составе изохронных отложений наблюдаются иллит (15–30 %) и вермикулит (до 25 %) (см. рис. 2). В целом изученный комплекс глинистых минералов и их последовательная смена от подошвы к кровле толщи значительно отличаются от таковых в разрезах, вскрытых в нескольких километрах от разломов. Аналогичная ситуация наблюдается на ряде разведочных площадей Обь-Тазовской СФО в Уренгойской, Часельской, Нюрольской, Тымской и Варь-Еганской СФЗ [13–17]. В Нюрольской СФЗ «аномальные» разрезы вскрыты скважинами Средняя 10, Колтогорские 1 и 2, Черемшанская 1, Болтная 1, Двуреченские 1 и 2, Крапивинские 190 и 208, Тагайские 2–8 (Колтогорский и Каймысовский НГР) [2, 12, 13].

Уникальность **Красноленинского** и соседнего **Шаимского** НГР заключается в том, что в их пределах породы доюрского основания подверглись гидротермальному изменению еще до дезинтеграции и сноса (при формировании коры выветривания) в результате действия газотермальных источников, возможно, генетически связанных с поствулканическими и другими сопутствующими процессами пермо-триасового рифтогенеза (рис. 3) [7, 8, 11, 24]. Деятельность источников с разной интенсивностью продолжалась в ранней юре в субаквальных и субаэральных условиях. Флюиды, разгружавшиеся на дне водоемов, способствовали образованию аутигенных минералов, ассоциации которых определялись составом высачивающихся гидротерм. Пропитка фумарольными, гейзерными растворами областей сноса терригенного материала сформировала специфическую кору выветривания с гиббситом, каолинитом высокой степени структурной упорядоченности, диккитом, гетитом и другими минералами в ее составе. Поэтому в делювиально-пролювиальных осадках шараповского времени (гравелитах и песчаниках пласта ЮК$_{11}$) наряду с аутигенными диккитом и каолинитом, выполняющими первичное и вторичное поровое пространство, наблюдаются окатанные агрегаты диккит-каолинитового состава (рис. 4). Диаметр глинистых микролитов в этих агрегатах меньше по сравнению с аутигенными фазами в порах, где размер новообразований каолинита и диккита часто достигает 30–40 мкм [4, 5, 9 и др.].

Детальная петрографическая характеристика нижнеюрских отложений Красноленинского района приводилась авторами ранее [4, 7, 8 и др.]. Однако роль обломков диккит-каолинитового состава в формировании коллекторов специально не рассматривалась в связи со сложностью их идентификации в уплотненных породах. На рис. 4 проиллюстрирована степень деформации глинистых обломков в разнозернистых полевошпатово-кварцевых граувакках шараповского горизонта, вскрытых Талинской скв. 2797. В ходе исследования были зафиксированы слабо деформированные окатанные обломки диккит-каолинитового состава (см. рис. 4, а, б, ж) и зерна с высокой степенью пластической деформации, среди которых выделяются два типа. Первый – с хорошо развитыми контактами приспособления, но с сохранившимися индивидуальными контурами и открытыми межзерновыми порами


10 0 10 км
65°
66°
67°
62°
61°
60°
Малая
Сосьва
Ем-Еган
Ендырь
Мутом
Советский
Сеуль
оз. Турсунский туман
Мулымья
Шаим
Бол. Тап
Емыс-Олым
Мулымья
Конда
1
2
3
4
а б 5
6
7
8
9
10
11
12
13
а б 14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26

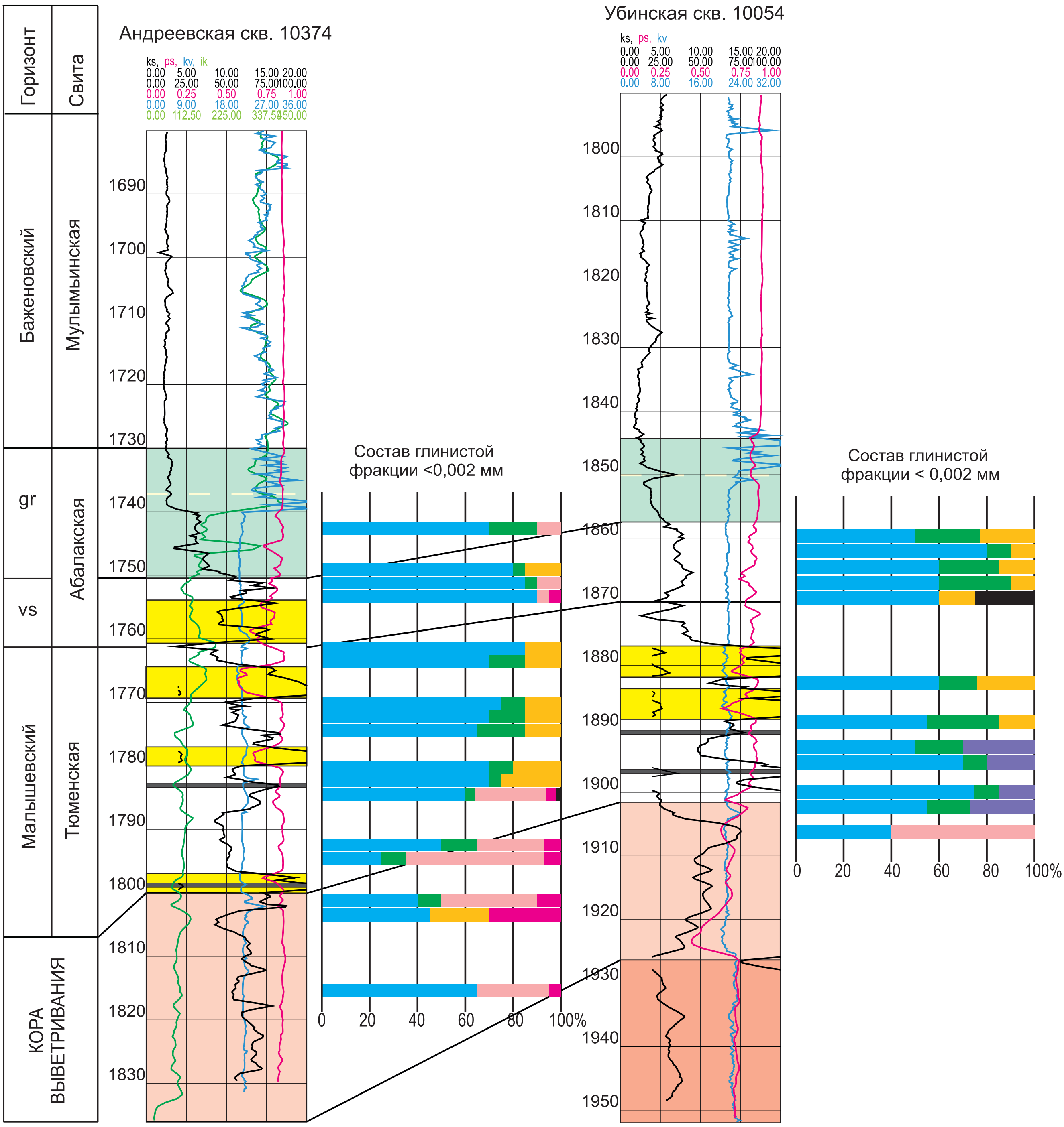


Рис. 2. Фрагмент схематической геологической карты доюрского основания Западно-Сибирской плиты в пределах Красноленинского и Шаимского нефтегазоносных районов (по данным СНИИГГиМС, 1995 г.) и состав глинистого вещества в разрезах, вскрытых скважинами

1 – триасовая система, нижний – средний отделы: песчано-глинистые и вулканогенно-осадочные отложения, эффузивы основного состава; 2 – каменноугольная система, нижний отдел: карбонатные и карбонатно-терригенные отложения, эффузивы основного и среднего состава; 3 – девонская система, средний – верхний отделы: эффузивы основного и среднего состава с прослоями терригенных и карбонатных пород; 4 – девонская система, нижний отдел: терригенные, терригенно-карбонатные, часто красноцветные образования; 5 – нижне-средний (а) и нижний (б) палеозой (нерасчлененный): углисто-кремнистые, серицито-хлоритовые и слюдяные сланцы, филлиты, известняки, мраморизованные известняки, мраморы, эффузивы разного состава; 6 – протерозой: гнейсы; 7 – метаморфические терригенно-карбонатные породы; 8 – метаморфические породы: эффузивные, эффузивно-кремнистые (зеленые сланцы); 9 – вулканогенно-осадочные породы (вулканиты основного состава); 10 – интрузивные комплексы гипербазитового состава; 11 – граниты, плагиограниты; 12 – основные разломы; 13 – скважины, вскрывшие доюрское основание, охарактеризованные в данной работе; 14 – положение скважин Андреевской 10374 (а) и Убинской 10054 (б), в разрезах которых изучен состав глинистого вещества; 15 – глинисто-глауконитовая пачка; 16 – песчаные пласты; 17 – углистые породы; 18 – кора выветривания, 19 – породы фундамента; 20 – каолинит; 21 – хлорит; 22 – гидрослюда; 23 – гиббсит; 24 – иллит; 25 – вермикулит; 26 – гидрослюда + смешанослойные минералы; горизонты: gr – георгиевский, vs – васюганский

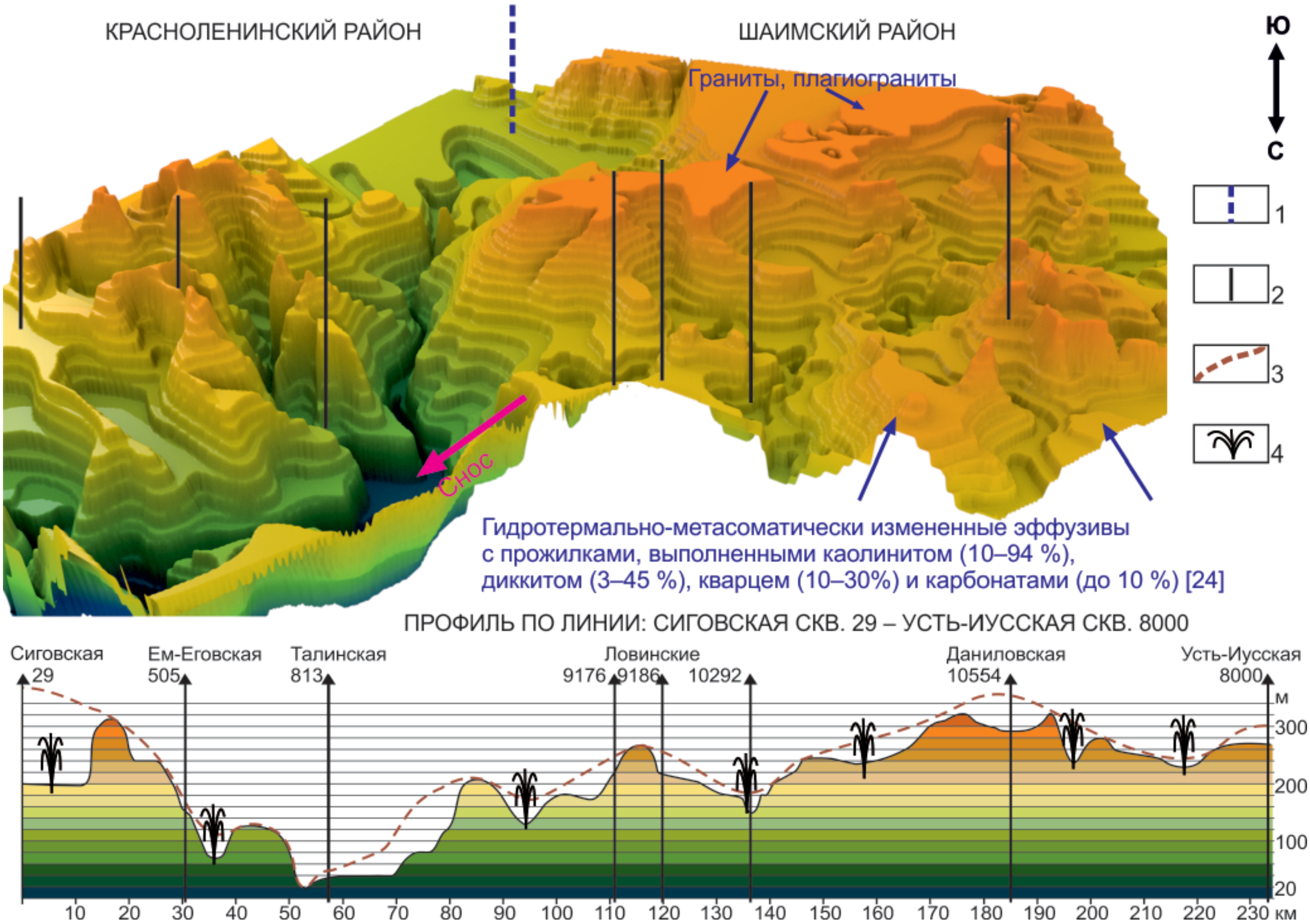


Рис. 3. Рельеф поверхности доюрских образований в ранней юре на территории Красноленинского и Шаимского НГР: объемно-метрическая схема (без реконструкции эродированных массивов) и субширотный профиль с элементами реконструкции

1 – граница между Красноленинским и Шаимским районами; 2 – местоположение скважин, указанных на профиле, в пределах объемно-метрической схемы; 3 – реконструированный профиль; 4 – гейзеры, сольфатары, термальные и минеральные источники

(см. рис. 4, в, г); второй – с полностью утраченными очертаниями из-за выжимания в пространство между каркасными элементами (обломками кварца, кварцитов, полевых шпатов) и слияния с подобными зернами, а также с тонкими глинистыми частицами, осажденными из взвеси при накоплении осадка (см. рис. 4, д, е, з). В последнем случае диккит-каолинитовое вещество смешанной природы (обломочное и тонкодисперсное) описывается петрографами как порово-базальный цемент. Очевидно, что большое количество пластичных обломков в осадке при его значительном уплотнении способствует ликвидации свободных межзерновых пустот, однако в обломках диккит-каолинитового состава

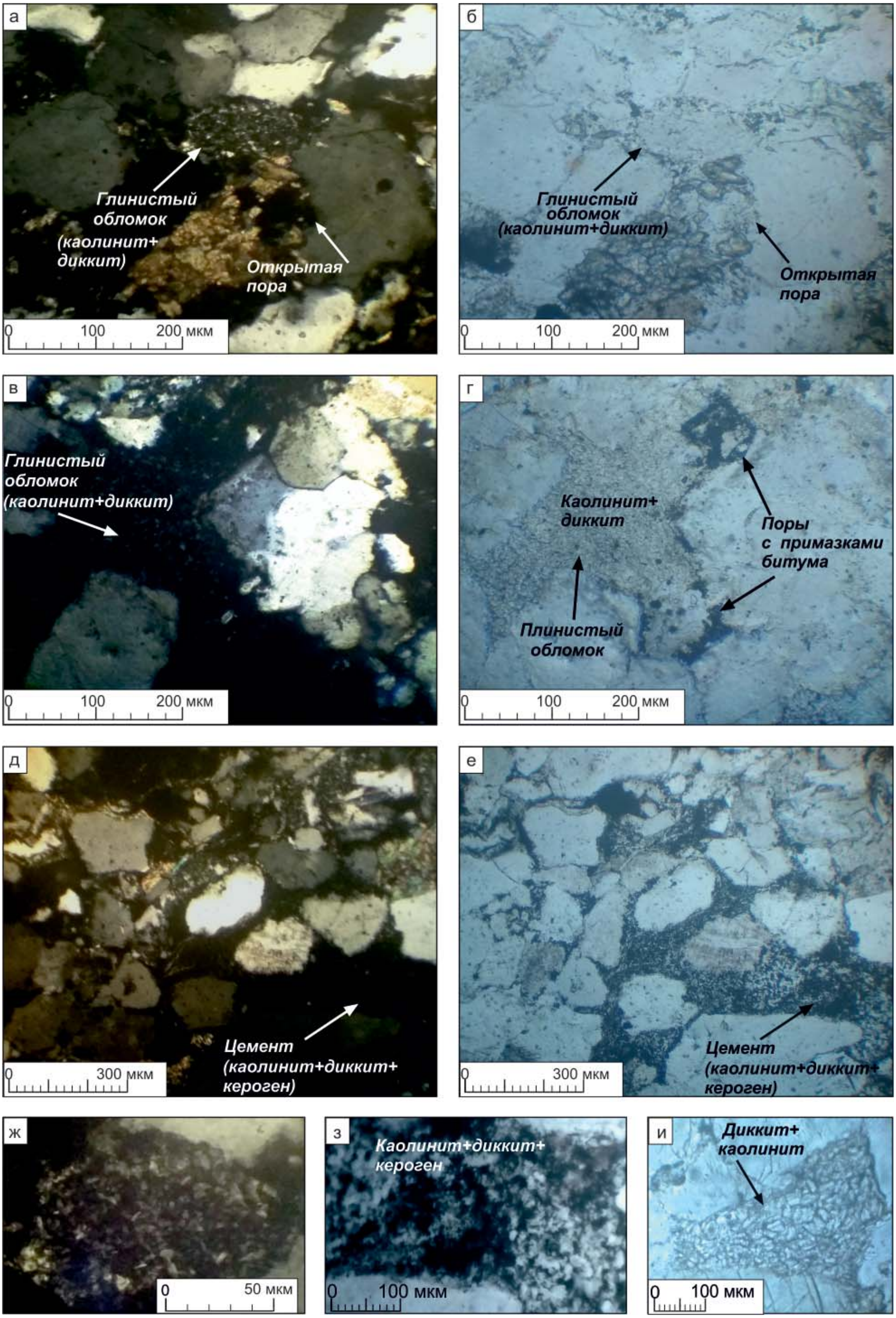
Рис. 4. Диагенетические и катагенетические преобразования глинистых обломков и состав глинистого цемента в разнозернистых песчаниках – полевошпатово-кварцевых граувакках шараповского горизонта, вскрытых Талинской скв. 2797 (Красноленинский НГР)

а, б – слабо деформированный окатанный обломок диккит-каолинитового состава в мелкозернистом песчанике (увеличенный фрагмент см. на рис. 4, ж), прилегающие тонкие и мелкие поры субизометричной формы открытые, иногда выполненные тонкокристаллическим карбонатом (глубина 2769,2 м) (а – николи скрещены, б – николи параллельны);

в, г – сильно деформированный обломок диккит-каолинитового состава в средне-мелкозернистом песчанике; развиты контакты приспособления за счет пластической деформации глинистых обломков, при этом некоторые межзерновые поры остаются открытыми или частично заполненными битуминозным веществом (глубина 2782,6 м) (в – николи скрещены, г – николи параллельны);

д, е – формирование порово-базального цемента в результате слияния сильно деформированных обломков диккит-каолинитового состава друг с другом и с тонкими глинистыми частицами, осажденными из взвеси при накоплении осадка; тонкие поры между микролитами заполнены керогеном (глубина 2783,6 м) (увеличенный фрагмент см. на рис. 4, з) (д – николи скрещены, е – николи параллельны);

и – пора полигональной формы, выполненная хорошо окристаллизованными агрегатами каолинита и диккита, которые образовались в результате катагенетического преобразования до более совершенных модификаций из глинистого вещества сильно деформированных обломков и взвеси (глубина 2786,1 м)


а
Глинистый обломок (каолинит+диккит)
Открытая пора
0 100 200 мкм
б
Глинистый обломок (каолинит+диккит)
Открытая пора
0 100 200 мкм
в
Глинистый обломок (каолинит+диккит)
0 100 200 мкм
г
Каолинит+ диккит
Поры с примазками битума
Плинистый обломок
0 100 200 мкм
д
Цемент (каолинит+диккит+ кероген)
0 300 мкм
е
Цемент (каолинит+диккит+ кероген)
0 300 мкм
ж
0 50 мкм
з
Каолинит+диккит+ кероген
0 100 мкм
и
Диккит+ каолинит
0 100 мкм

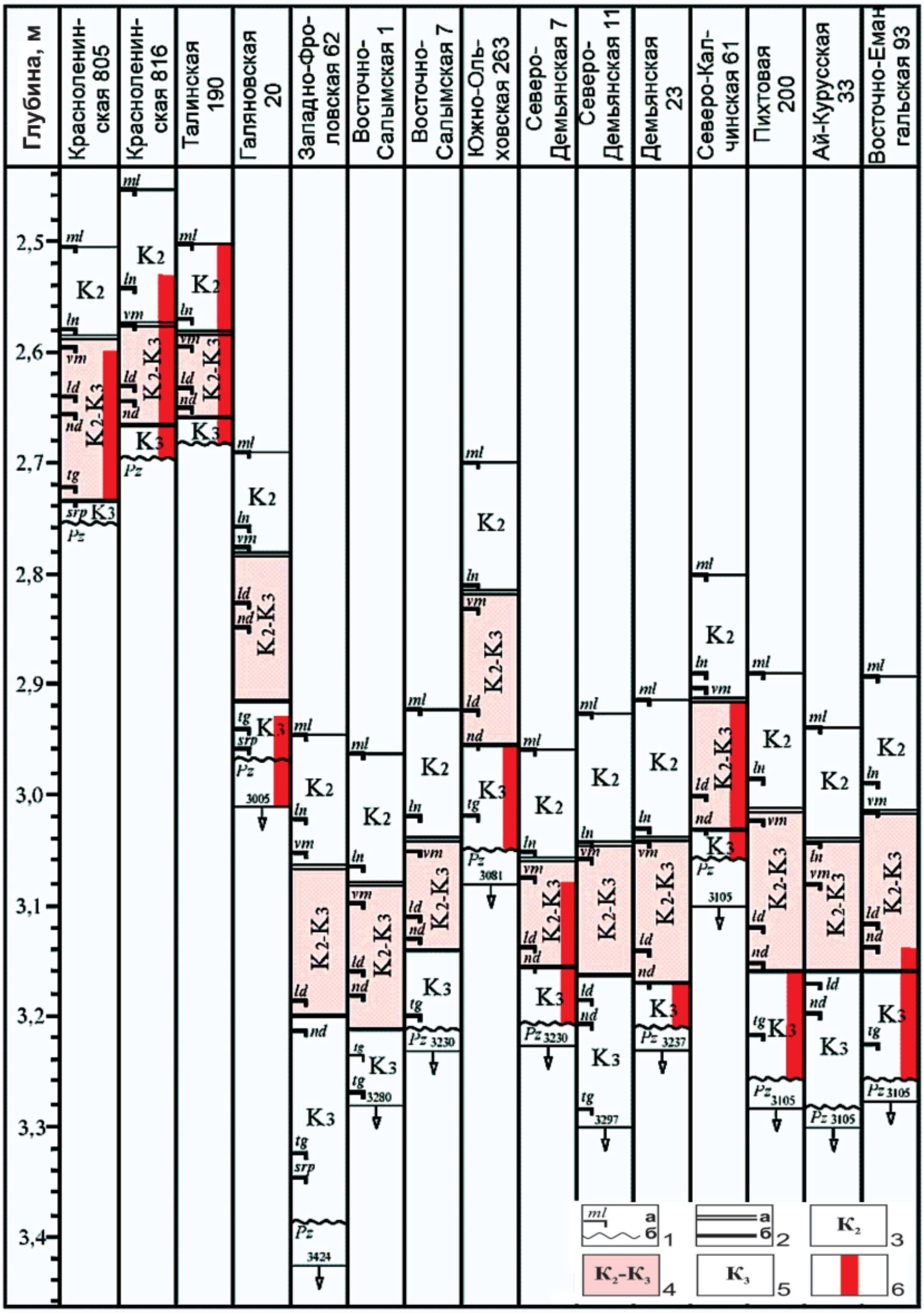


Рис. 5. Схема катагенетической зональности нижне-среднеюрских отложений Фроловской СФЗ

1 – кровля горизонта (а), поверхность доюрского основания (б); 2 – граница между зоной среднего катагенеза и зоной, переходной от среднего к позднему (глубинному) катагенезу (а), и граница между переходной зоной и зоной позднего (глубинного) катагенеза (б); 3 – зона среднего катагенеза; 4 – переходная зона от среднего к позднему катагенезу; 5 – зона позднего (глубинного) катагенеза; 6 – доломитизация; горизонты: ml – малышевский, ln – леонтьевский, vm – вымский, ld – лайдинский, nd – надояхский, tg – тогурский, srp – шараповский, zm – зимний

сохраняются микропоры за счет особенностей кристаллической структуры [4, 5, 9, 26]. Проницаемость такого порово-базального цемента седиментационного генезиса, возрастающая при катагенетическом росте температуры, давления и циркуляции пластовых вод, способствует совершенствованию структуры глинистых минералов, их перекристаллизации с образованием микролитов (агрегатов из пластинок) большего размера и перестройке пустотного пространства (см. рис. 4, д, е, з, и). Этот процесс до

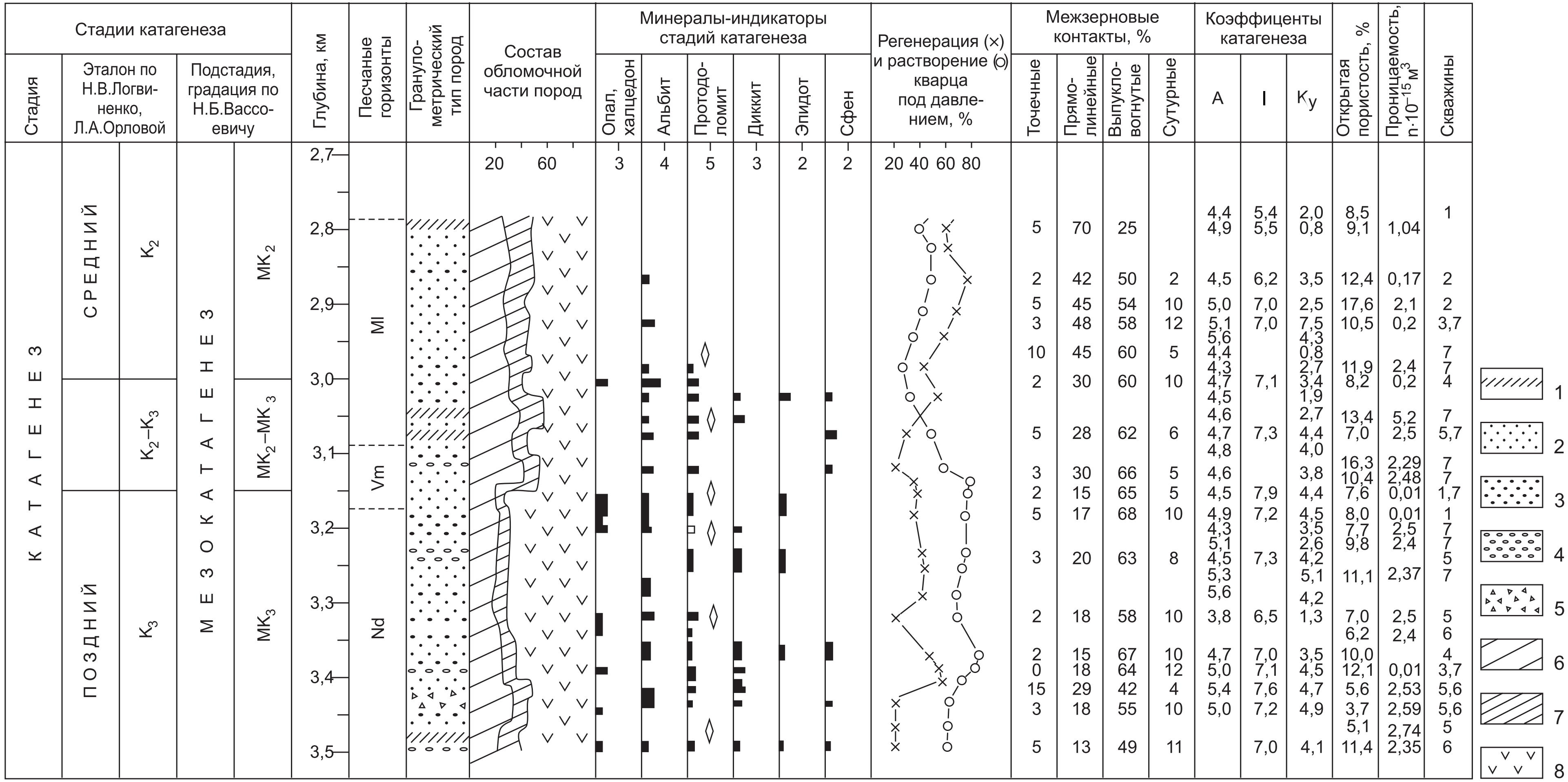


Рис. 6. Стадии катагенеза нижне-среднеюрских отложений южных и юго-западных районов Колтогорского мегапрогиба и Нюрольской впадины

1 – алевролиты; 2–4 – песчаники: 2 – мелкозернистые, 3 – среднезернистые, 4 – крупнозернистые; 5 – гравелиты, конгломераты; 6 – кварц; 7 – полевые шпаты; 8 – обломки пород; горизонты песчаной седиментации: ml – малышевский, vm – вымский, nd – надояхский; скважины: 1, 2 – Фестивальные 250 и 251, 3 – Фестивальная 253, 4 – Западно-Карайская 3, 5 – Глуховская 3, 6 – Кузырская 320, 7 – Южно-Фестивальная 1; коэффициенты катагенеза: А – число контактов на одно зерно, I – интенсивность катагенеза, $K_у$ – коэффициент уплотнения

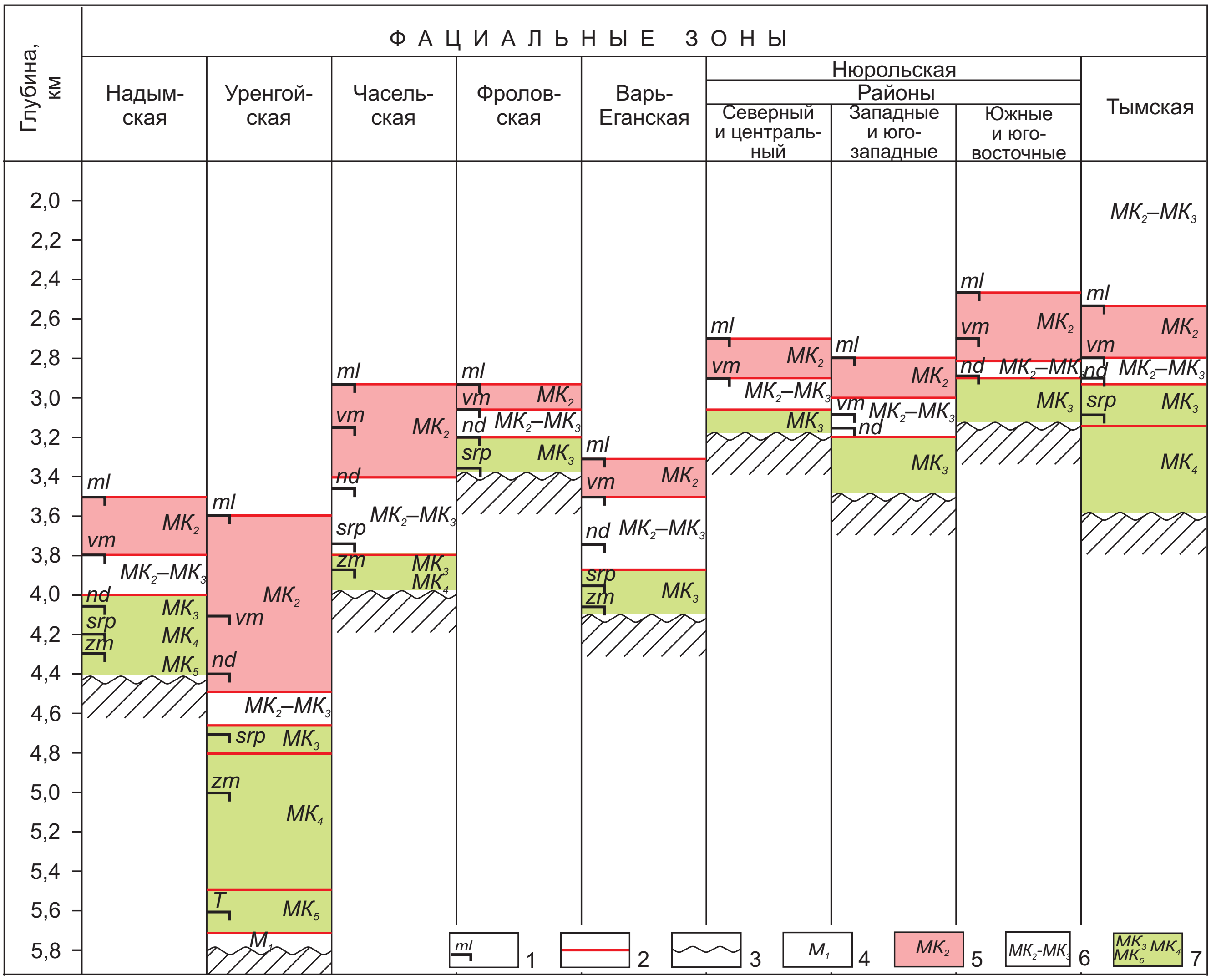


Рис. 7. Схема катагенетической зональности нижне-среднеюрских отложений Обь-Тазовской структурно-фациальной области

Границы: 1 – кровля горизонта, 2 – между подзонами (градациями) катагенеза, 3 – поверхности доюрского основания; 4 – зона начального метагенеза; 5–7 – зоны катагенеза: 5 – среднего, 6 – переходная от среднего к позднему, 7 – позднего; горизонты песчаной седиментации: *ml* – малышевский, *vm* – вымский, *nd* – надояхский, *srp* – шараповский, *zm* – зимний

сих пор плохо изучен, но многие исследователи отмечают прямую связь между увеличением проницаемости участков, сложенных диккитом и каолинитом, и размерами микролитов. Предполагается, что хаотичная ориентировка агрегатов пластинок создает подобие мелкоалевритовой структуры с тонкими межзерновыми порами [23 и др.].

В целом в породах нижней юры, вскрытых скважинами на Красноленинской, Талинской, Южно-Талинской и других площадях Фроловского СФР, в интервале 2660–2760 м отмечаются кварц (нескольких модификаций), адуляр, альбит, каолинит, диккит и протодоломит. На Талинской площади в песчаниках пласта $ЮК_{11}$ выделены три модификации аутигенного кварца: 1) регенерационный (с восстановлением кристаллографической формы зерен); 2) короткопризматический в порах и кавернах, водяно-прозрачный; 3) микрокристаллический (тонкодисперсный) [1].

Минералогические показатели свидетельствуют о преобразованиях пород на стадии начального этапа глубинного катагенеза $К_3^1$ по шкале Н. В. Логвиненко и Л. В. Орловой (1987), или $МК_3$ по Н. Б. Вассоевичу (1983). Однако согласно исследованиям процессов регионального катагенеза (литогенеза погружения) перечисленные аутигенные минералы, как правило, образуются в осадочных толщах на глубинах свыше 3000 м [2, 9, 10, 14, 16]. Например, восточнее Красноленинской и Талинской площадей в разрезе, вскрытом Западно-Фроловской скв. 62 (Фроловский СФР), породы шараповского горизонта на глубине более 3080 м претерпели изменения, соответствующие переходной зоне от среднего к позднему (глубинному) катагенезу ($К_2$–$К_3$), но не вышли из нее, а граница с зоной глубинного катагенеза $К_3$ располагается глубже, на уровне 3200 м (рис. 5). Следует отметить, что степень преобразованности нижнеюрских отложений Красноленинского рай-

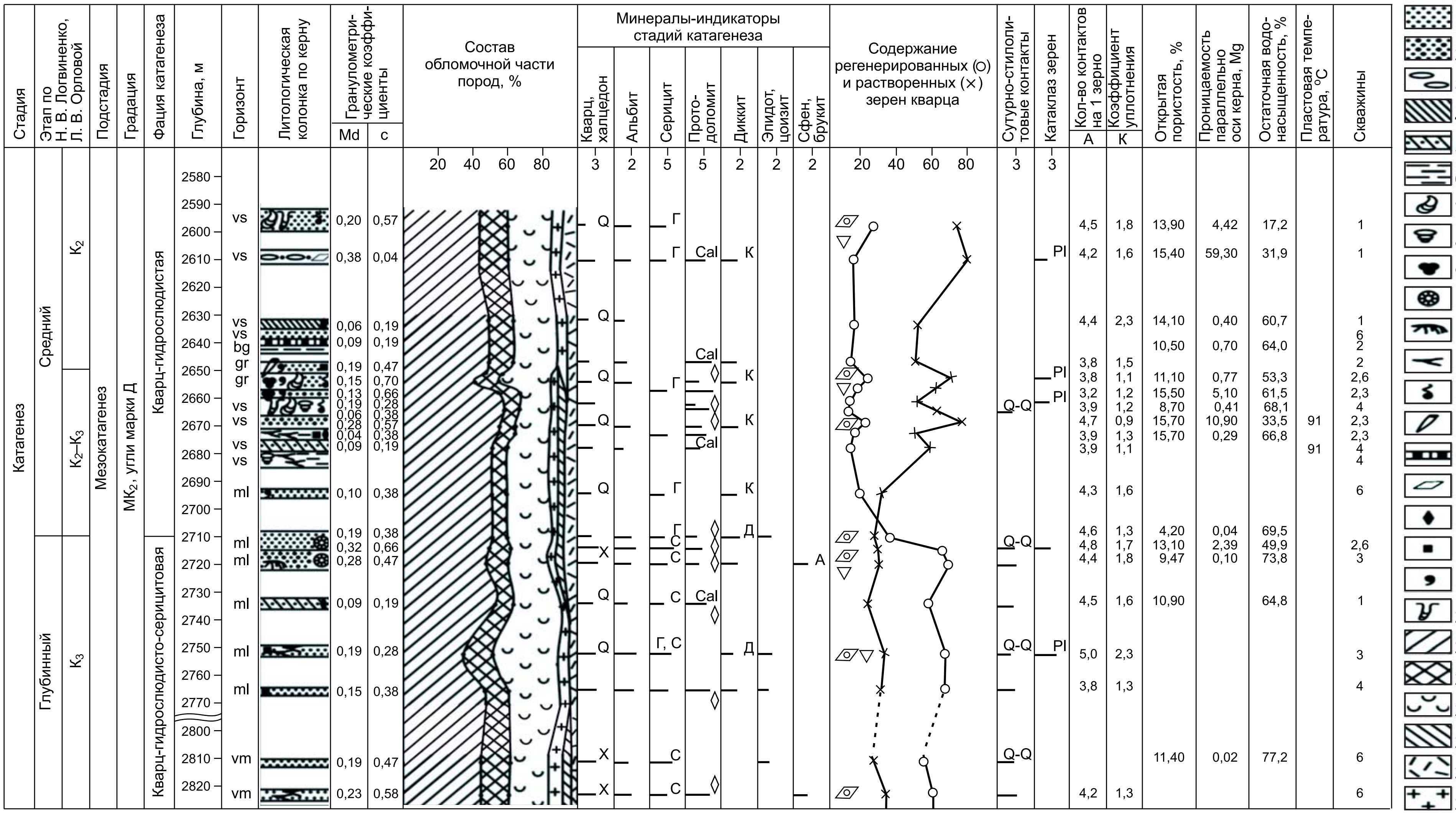


Рис. 8. Катагенетические изменения алеврито-песчаных пород средней – верхней юры Каймысовского нефтегазоносного района (Северо-Карасевская, Западно-Карасевская, Павловская площади)

1–2 – песчаник: 1 – мелкозернистый, 2 – мелко-среднезернистый; 3 – гальки кремней, кварцитов; 4 – алевролиты; 5 – алевролиты песчаные и песчанистые; 6 – аргиллиты; 7 – двустворчатые моллюски; 8 – фораминиферы; 9 – конкреции сидерита; 10 – остатки водорослей; 11 – ризоиды; 12 – мелкий растительный детрит; 13 – признаки нефтенасыщения; 14 – ростры белемнитов; 15 – остатки радиолярий; 16 – кальцит; 17 – сидерит; 18 – пирит; 19 – глауконит; 20 – текстуры биотурбаций; 21 – кварц; 22 – полевые шпаты; 23–26 – обломки: 23 – кремней, кварцитов, 24 – кварц-серицитовых сланцев, 25 – кислых эффузивов, 26 – гранитоидов; горизонты: bg – баженовский, gr – георгиевский, ml – малышевский; vm – вымский; nd – надояхский; скважины: 1 – Северо-Карасевская 66, 2 – Западно-Карасевская 70, 3 – Северо-Карасевская 61, 4 – Северо-Карасевская 67, 5 – Павловская 7

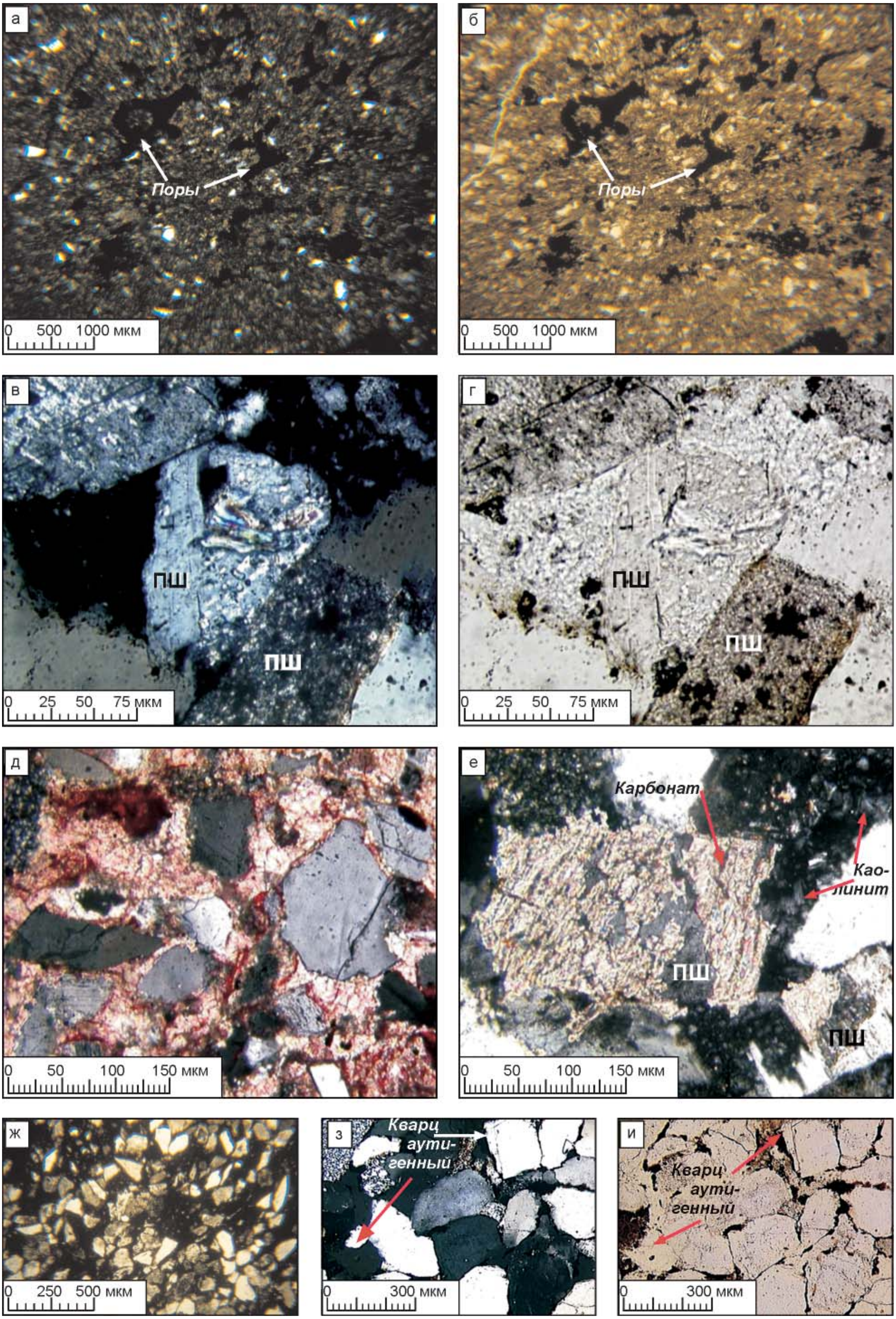

а
Поры
0 500 1000 мкм
б
Поры
0 500 1000 мкм
в
ПШ
ПШ
0 25 50 75 мкм
г
ПШ
ПШ
0 25 50 75 мкм
д
0 50 100 150 мкм
е
Карбонат
Као-
линит
ПШ
ПШ
0 50 100 150 мкм
ж
0 250 500 мкм
з
Кварц
аути-
генный
0 300 мкм
и
Кварц
аути-
генный
0 300 мкм

Рис. 9. Катагенетические преобразования юрских отложений Каймысовского нефтегазоносного района и прилегающих территорий

а, б – поры разнообразной конфигурации, заполненные битумом, в мелкозернистом песчанике пласта $Ю_2$ (Новоютымская скв. 61, малышевский горизонт, глубина 2716 м) (а – николи скрещены, б – николи параллельны);

в, г – серицитизация, пелитизация и растворение полевых шпатов с последующим заполнением вторичных пустот битуминозным веществом (скв. Северо-Черталинская 402, малышевский горизонт, глубина 2750,2 м [13]); в – николи скрещены), г – николи параллельны;

д – карбонатный цемент (прокрашенный ализарином) базального типа (Крапивинская скв. 201, васюганский горизонт, глубина 2686 м [13]); николи скрещены;

е – развитие кальцита и каолинита по обломкам полевых шпатов (Толпаровская скв. 2, малышевский горизонт, глубина 2649,1 м [13]); николи скрещены;

ж – глинистый цемент, пропитанный битумом (Новоютымская скв. 61, малышевский горизонт, глубина 2716 м); николи параллельны;

з, и – аутигенный кварц в виде неполных регенерационных каемок и припаев, пустоты заполнены битуминозным веществом (Крапивинская скв. 201, васюганский горизонт, глубина 2692,5 м [2]); з – николи скрещены, и – николи параллельны

она по минералогическим показателям часто не совпадает с ее оценкой по структурным параметрам (расчетам числа контактов на зерно, значению коэффициента уплотнения, интенсивности катагенеза) и степенью катагенеза органического вещества (ОВ) по отражательной способности витринита. Число контактов на одно зерно (А) в песчаниках и гравелитах шараповского горизонта варьирует от 4,9 до 6,3, в единичных образцах достигает 7,5. Коэффициент уплотнения ($К_у$) изменяется от 0,3 до 1,22, при этом интенсивность катагенеза (I) колеблется в пределах 8,1–17,5 [4, 14]. В залегающих выше породах надояхского горизонта А = 4,3–6,2; $К_у$ = 0,36–1,6; I = 6,3–11,8. Данные об интенсивности катагенеза, полученные методом стадиального анализа для пород нижней юры из интервала 2655–2787 м, сопоставимы с оценками, выполненными для толщ, которые залегают на глубинах 3000–3200 м в разрезах Западной Сибири и 3200–3500 м в Восточной Сибири (Средневилюйская скв. 27). Для таких высоких значений I, соответствующих стадии $МК_3$ фонового литогенеза, $К_у$ осадков должен характеризоваться значениями выше 5,0, в то же время его показатели в пределах Талинской зоны газонефтенакопления составляют не более 1,22 (по данным авторов) и степень катагенеза ОВ, заключенного в этих породах, находится на уровне градаций $МК_1^1$–$МК_1^2$ [4 и др.]. Таким образом, специфические парагенезы минералов (опал, халцедон, каолинит с высокой степенью структурной упорядоченности, диккит, протодоломит), не типичные для данных глубин при нормальных условиях литогенеза погружения, в сочетании с невысокими стадиями преобразования ОВ свидетельствуют *о влиянии наложенных низко- и среднетемпературных (до 275 °С) гидротермальных процессов на формирование пород.*

По мере накопления осадочного материала и нивелировки рельефа в Красноленинском районе (в ранней юре он располагался на гипсометрически более низком уровне по сравнению с соседним Шаимским) произошли изменения в системе циркуляции растворов в зонах трещиноватости (см. рис. 3) [7]. В вымское и малышевское время часть дизъюнктивных нарушений, проникающих из пород доюрского основания в перекрывающие их осадки шараповского и надояхского горизонтов, постепенно перешла в ранг пассивных. В них прекратилась интенсивная циркуляция растворов, а трещины «залечились» мозаичным кварцем, халцедоном, кальцитом. На других участках проработка минерализованными флюидами, содержащими CO_2, продолжалась, и в результате выщелачивания сформировались зоны (толщиной до 200–300 м) улучшенных коллекторов трещинно-кавернового типа, включая кору выветривания.

Высокий вертикальный масштаб гидротермальной проработки юрских отложений наблюдается в **Каймысовском** НГР [12, 13, 15, 16 и др.]. Минералогические аномалии здесь прослеживаются от надояхского и вымского до малышевского и васюганского горизонтов (Мелимовская, Крапивинская, Тагайская, Игольско-Таловая, Корсево-Мелимовская и другие площади). В этом районе интенсивно изменены также породы доюрского основания. По сравнению с отложениями вне зоны аномалий (рис. 6, 7) юрские песчаники на Тагайской, Крапивинской, Северо-Карасевской и других площадях претерпели более сильные изменения, характерные для начального этапа стадии глубинного катагенеза $К_3^1$ (рис. 8). Следует отметить, что в этих разрезах, в отличие от вышеописанных Красноленинского района, степень катагенеза ОВ совпадает с оценками по минералогическим показателям. Так, в толщах Каймысовского района с признаками наложенных процессов ОВ преобразовано до градации $МК_3$ по сравнению с $МК_1$–$МК_2$ в разрезах вне аномалий. Ситуация, аналогичная таковой в Красноленинском районе, наблюдается на юго-западе Нюрольского СФР, где в отложениях средней – верхней юры, вскрытых скважинами Северо-Черталинской 402, Болтной 1, Герасимовской 3 и др., степень катагенеза ОВ соответствует градациям $МК_1$–$МК_2$, в то время как интенсивные изменения пород (аномальная минерализация, химическое растворение и др.) характерны для начального этапа зоны глубинного катагенеза $К_3^1$ [2, 13, 15, 16].

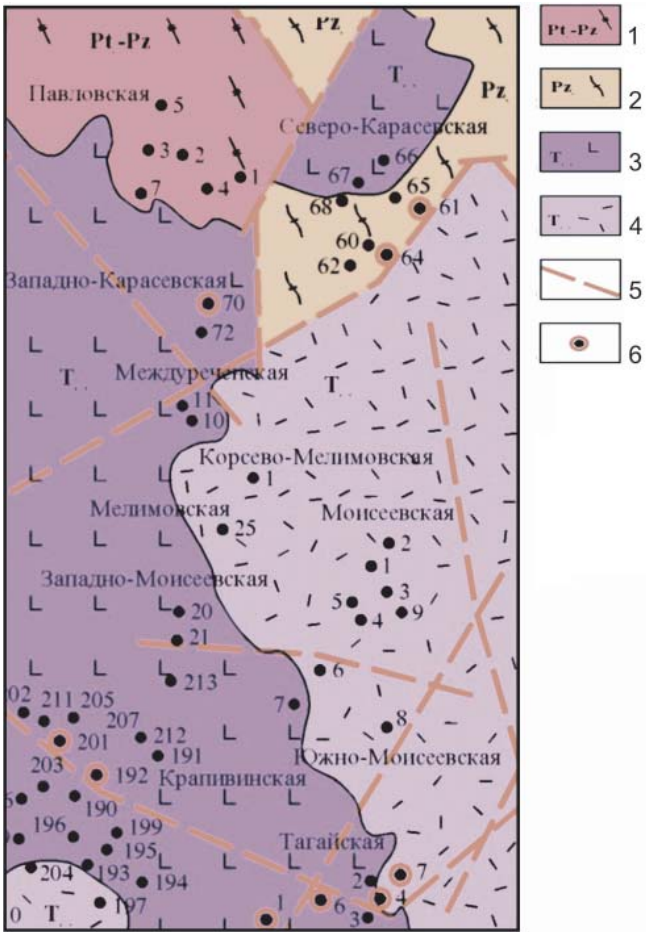


Рис. 10. Фрагмент строения доюрских образований Каймысовского нефтегазоносного района (по Л. В. Смирнову, Л. Г. Смирновой, А. И. Недоспасову, 1999)

1 – нерасчлененные образования верхнего протерозоя – палеозоя, глинисто-кремнистые, серицит-хлорит-кварцевые сланцы с линзами биогермных известняков; 2 – верхний палеозой, зеленокаменно измененные туфы андезитового состава; 3 – нижний – средний триас, базальты, долерито-базальты, туфы, туфолавы, туфобрекчии основного состава; 4 – нижний – средний триас, фельзитовые и кварцевые порфиры, их туфы, туфолавы, туфобрекчии; 5 – основные разломы; 6 – скважины, вскрывшие нижне-верхнеюрские породы с минералогическими аномалиями

В песчаниках из «аномальных» скважин широко развиты аутигенные минералы – индикаторы глубинного катагенеза (альбит, протодоломит и др.), наблюдаются структуры растворения кварца под давлением, интенсивный катаклаз обломочных зерен, явления внутризернового растворения, сутурно-стилолитовые контакты (рис. 9). Как правило, в наиболее полных разрезах максимально преобразованными оказываются отложения нижней юры, залегающие на доюрском основании (Мелимовская скв. 25 и др.). Однако в отдельных разрезах, вскрытых скважинами близ линий дизъюнктивных нарушений (Тагайская, Крапивинская, Двуреченская, Герасимовская площади), процессы интенсивного окварцевания и карбонатизации, а также признаки нефтенасыщения проявляются и в песчаных пластах средней юры, а иногда отмечаются в породах васюганского и георгиевского горизонтов. Проникновение растворов в более высокие части разрезов вплоть до подошвы кошайской пачки алымской свиты объясняется развитием разрывных нарушений в раннем мелу в южной части Каймысовского НГР (Тагайская площадь) [21]. В Каймысовском и Демьянском НГР четко прослеживается пространственная связь между интенсивностью гидротермальной проработки песчаных пластов и близостью разведочных скважин к линиям глубинных разломов доюрского основания (рис. 10).

Основываясь на результатах литологических исследований, авторы ранее высказывали предположение о тесной связи флюидомиграции и наложенных эпигенетических процессов в юрском осадочном комплексе Западно-Сибирской плиты, поддерживая таким образом выводы других исследователей, полученные ими с помощью интерпретации геофизических данных и структурно-тектонического анализа [6, 21, 22]. По указанным материалам, все разведанные высокодебитные залежи углеводородов на территории Нюрольского СФР располагаются в контуре вертикальных аномалий на временных сейсмических разрезах. Там же фиксируются столбообразные катагенетические аномалии, которые контролируются зонами разломов, в том числе глубинных, проникающих в осадочный чехол ЗСП и приуроченных к надрифтовым желобам пермотриасового возраста [13, 16, 22].

Характер наложенной эпигенетической минерализации в юрских разрезах Красноленинского, Каймысовского и некоторых прилегающих районов очень близок и проявляется не только в окремнении, каолинитизации, диккитизации, но и в интенсивной карбонатизации. ***Вертикальный этаж доломитизации*** в них достаточно высок и в Красноленинском районе достигает подошвы малышевского горизонта, а в Каймысовском – подошвы георгиевского (см. рис. 5, 8). Гидротермальные карбонаты в составе порового цемента продуктивных пластов мезозойского комплекса ЗСП детально изучены Г. Э. Прозоровичем, О. Г. Зариповым, Г. Н. Перозио, А. А. Розиным, З. Я. Сердюк и др. По их данным, в нефтегазоносных отложениях аномальные концентрации кальцита, анкерита и доломита, как правило, приурочены к зонам дизъюнктивных нарушений [20, 25 и др.]. Предполагается, что образование этих минералов связано с ***воздействием на породы кислых гидротерм, обогащенных CO_2***.

Таким образом, литолого-петрофизическое изучение и прослеживание катагенетических аномалий в тектонически активных зонах по вертикали и латерали в комплексе с гидро-геохимическими и геолого-геофизическими данными позволяют с большей достоверностью оценить масштабы проникновения глубинных разломов в осадочный чехол и связанную с этим интенсивность флюидомиграции, а также степень влияния наложенных гидротермально-метасоматических процессов на коллекторские свойства пород. Это повышает успешность прогноза зон развития улучшенных коллекторов на территориях, еще не освоенных бурением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Абдуллин Р. А.** Природа высокой проницаемости пород-коллекторов шеркалинского горизонта Красноленинского района Западной Сибири // Докл. АН СССР. – 1991. – Т. 316, № 2. – С. 422–424.

2. **Бурлева О. В.** Постседиментационные преобразования келловей-оксфордских отложений Обь-Иртышского междуречья: процессы и минеральные ассоциации // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2008. – № 6. – С. 9–22.

3. **Ван А. В.** Роль вулканизма в образовании мезозойско-кайнозойского чехла Западно-Сибирской плиты // Магматизм, литология и вопросы рудоносности Сибири. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1974. – С. 52–61.

4. **Геология** и условия формирования гигантской Талинской зоны газо-нефтенакопления в континентальных отложениях нижней юры (Западная Сибирь) / А. Э. Конторович, Л. Г. Вакуленко, О. Н. Злобина и др. // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 36, № 6. – С. 5–28.

5. **Диккит** в нижнеюрских отложениях Талинской зоны нефтегазонакопления / А. Э. Конторович, Э. П. Солотчина, Ю. П. Казанский, В. В. Казарбин // Докл. АН СССР. – 1995. – Т. 342, № 3. – С. 350–353.

6. **Запивалов Н. П., Богатырева О. А.** Флюидодинамические системы на юге Западной Сибири и их связь с нефтегазоносностью // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1999. – № 3. – С. 77–83.

7. **Злобина О. Н.** Опыт реконструкции ландшафтов юры Приуральской части Западной Сибири // Палеонтология, биостратиграфия и палеобиогеография бореального мезозоя: матер. науч. сес. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2006. – С. 182–185.

8. **Злобина О. Н.** Строение, состав и обстановки формирования юрских отложений Приуральской части Западной Сибири в связи с нефтегазоносностью региона: автореф. дис. … к. г.-м. н. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2009. – 18 с.

9. **Зубков М. Ю.** Перспективы обнаружения залежей углеводородов во вторичных коллекторах гидротермального происхождения // Нетрадиционные источники углеводородного сырья и проблемы их освоения: тр. Междунар. симп. – СПб.: СПбГУ, 1992. – С. 155–156.

10. **Катагенетическая** зональность нижне-среднеюрских отложений Обь-Тазовской фациальной области в связи с их нефтегазоносностью / Е. А. Предтеченская, Л. Г. Вакуленко, И. Д. Полякова, А. С. Фомичев // Проблемы литологии, геохимии и рудогенеза осадочного процесса: матер. I Всерос. литол. совещ. Т. 2. – М.: МГУ, 2000. – С. 145–149.

11. **Коробов А. Д., Коробова Л. А.** Гидротермальные процессы в погребенных палеорифтах Западной Сибири и их роль в доломитизации известняков и насыщении пород фундамента нефтью // Геология нефти и газа. – 2005. – № 3. – С. 37–46.

12. **Предтеченская Е. А.** Катагенетические изменения нижне-среднеюрских отложений на территории Томской области // Матер. регион. конф. геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России. Т. 1. – Томск: ТПУ, 2000. – С. 192–193.

13. **Предтеченская Е. А., Бурлева О. В.** Катагенетические аномалии в юрских нефтегазоносных отложениях Томской области как индикаторы дизъюнктивных нарушений // Геологическое строение и нефтегазоносность отложений юго-востока Западно-Сибирской плиты (Томская область): матер. междунар. науч.-техн. конф. – Томск: ТО СНИИГГиМС, 2006. – С. 77–90.

14. **Предтеченская Е. А., Вакуленко Л. Г., Злобина О. Н.** Катагенетические изменения нижнеюрских песчаных пород Фроловской фациальной зоны (Западная Сибирь) и их влияние на коллекторские свойства // Осадочные бассейны Урала и прилегающих регионов: закономерности строения и минерагения. – Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2000. – С. 200–204.

15. **Предтеченская Е. А., Злобина О. Н., Бурлева О. В.** Минералогические и геохимические аномалии как индикаторы флюидодинамических процессов в юрских нефтегазоносных отложениях Западно-Сибирской плиты // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2015. – № 1. – С. 11–24.

16. **Предтеченская Е. А., Шиганова О. В., Фомичев А. С.** Катагенетические и гидрохимические аномалии в нижне-среднеюрских нефтегазоносных отложениях Западной Сибири как индикаторы флюидодинамических процессов в зонах дизъюнктивных нарушений // Литосфера. – 2009. – № 6. – С. 54–65.

17. **Решения** 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2004. – 114 с.

18. **Роль** мезозойско-кайнозойской тектоники в формировании залежей углеводородов в южных частях Каймысовского свода и Нюрольской мегавпадины / В. А. Конторович, М. В. Соловьев, Л. М. Калинина, А. Ю. Калинин // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 8. – С. 1075–1091.

19. **Сердюк З. Я., Слепокурова Л. Д.** Геолого-геофизические аномалии и их роль при поисках неантиклинальных ловушек УВ в нефтегазоносных толщах Западной Сибири // Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства: матер. междунар. науч.-техн. конф. – Томск: ТПУ, 2001. – С. 243–246.

20. **Сердюк З. Я., Эренбург Б. Г.** О составе вторичных карбонатов, развитых в трещинах и порах пород фундамента и осадочного чехла Обь-Иртышского междуречья // Литология и геохимия мезозойских отложений Сибири. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1972. – С. 87–91.

21. **Соловьев М. В.** Геологическое строение, тектоника и нефтеносность верхнеюрских отложений южной части Каймысовской НГО (южные районы Каймысовского свода и Нюрольской мегавпадины): автореф. дис. … к. г.-м. н. – Новосибирск, 2013. – 21 с.

22. **Тищенко Г. И., Сысолятин Н. В., Тищенко В. М.** Высокодебитные скопления углеводородов в Томской области и особенности их размещения // Актуальные вопросы геологии и географии Сибири: матер. науч. конф. Т. 2. – Томск: ТПУ, 1998. – С. 159–160.

23. **Харченко С. И.** Связи фильтрационно-емкостных и структурно-вещественных параметров пород пласта $Ю_1$ Восточно-Придорожного месторождения // Вестник недропользователя ХМАО. – 2003. – № 10. – Точка доступа: http://www.oilnews.ru/10–10/svyazi-filtracionno-emkostnyx-i-strukturno-veshhestvennyx-parametrov-porod-plasta-yu1-vostochno-pridorozhnogo-mestorozhdeniya.

24. **Шелепов Д. А., Коробов А. Д.** Диккит в нижнемезозойских вулканитах Шаимского нефтегазоносного района как индикатор тектоно-гидротермальной активизации // Геология, география и глобальная энергия. – 2011. – № 2 (41). – С. 51–55.

25. **Boles J. R.** Calcite as an indicator of vertical fluid transport in hydrocarbon systems // Mineralogy for the New Millenium: 18 General Meeting of the Internetional Mineralogical Assotiation. – Edinburgh: IMA, 2002. – P. 302.

26. **Tessier D., Beaumont A., Pedro G.** Influence of clay mineralogy and rewetting rate on clay microstructure // Soil micromorphology: A basic and applied science. Prof. Conf. Developments in Soil Science / Ed. L. A. Douglas. – San Antonio, Texas: Elsevier, 1990. – P. 115–121.

REFERENCES

1. Abdullin R.A. [The nature of high permeability of reservoir rocks in the Sherkalinskiy Horizon of the Krasnoleninskiy region, West Siberia]. *Doklady AN USSR. Ser. Geol. – Proceedings of the AS USSR. Section Earth Siences*, 1991, vol. 316, no. 2, pp. 422–424. (In Russ.).

2. Burleva O.V. [Postsdepositional alterations of the Callovian-Oxfordian deposits in the Ob–Irtysh interfluve: processes and mineral associations]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2008, no. 6, pp. 9–22. (In Russ.).

3. Van A.V. [Role of volcanism in the formation of the Mesosoic-Cenozoic cover of the West Siberian Plate]. *Magmatizm, litologiya i voprosy rudonosnosti Sibiri* [Magmatism, lithology and questions of ore content in Siberia]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1974, pp. 52–61. (In Russ.).

4. Kontorovich A.E., Vakulenko L.G., Zlobina O.N., et al. [Geology and formation conditions of the giant Talinskaya zone of petroleum accumulation in the Jurassic continental deposits (West Siberia)] *Geologiya i geofizika*, 1995, vol. 36, no. 6, pp. 5–28. (In Russ.).

5. Kontorovich A.E., Solotchina E.P., Kazanskiy Yu.P., Kazarbin V.V. [Dickite of Jurassic sedimentary rocks of the Talinskaya Zone of gas and oil accumulation]. *Doklady AN USSR. Ser. Geol. – Proceedings of the AS USSR. Section Earth Siences*, 1995, vol. 342, no. 3, pp. 350–353. (In Russ.).

6. Zapivalov N.P., Bogatyreva O.A. [Fluid dynamic systems in the south of West Siberia and their connection with petroleum potential]. *Izv.vuzov. Geologiya i razvedka – Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*, 1999, no. 3, pp. 77–83. (In Russ.).

7. Zlobina O.N. [Experiment of the Jurassic landscape reconstruction of the Cisurals part of West Siberia]. *Paleontologiya, biostratigrafiya i paleobiogeografiya borealnogo mezozoya* [Paleontology, biostratigraphy and paleobiogeography of the boreal Mesozoic]. Novosibirsk, Geo Academic Publ., 2006, pp. 182–185. (In Russ.).

8. Zlobina O.N. *Stroenie, sostav i obstanovki formirovaniya yurskikh otlozheniy Priuralskoy chasti Zapadnoy Sibiri v svyazi s neftegazonosnostyu regiona. Avtoref. kand. dis.* [Structure, composition and formation environments of Jurassic deposits in the Cisurals of West Siberia in connection with petroleum potential of the region. Author's abstract of PhD thesis]. Novosibirsk, IPGG SB RAS Publ., 2009. 18 p. (In Russ.).

9. Zubkov M.Yu. [Prospects for discovery of hydrocarbon accumulations in secondary reservoirs with hydrothermal origin]. *Netraditsionnye istochniki uglevodorodnogo syrya i problemy ikh osvoeniya. Trudy mezhdunar. simp*. [Unconventional sources of hydrocarbon raw materials and problems of their exploration. Proceedings of Intern. Symp.]. Saint Petersburg, State University Publ., 1992, pp. 155–156. (In Russ.).

10. Predtechenskaya E.A., Vakulenko L.G., Polyakova I.D., Fomichev A.S. [Categenetic zoning of Lower–Middle Jurassic deposits of the Ob-Tazovskaya facies area relative to their petroleum potential]. *Materialy I Vseros. litol. soveshch.* [Proceeding of 1st All-Russ. Lithological Conference, vol. 2], 2000, Moscow, State University Publ., pp. 145–149. (In Russ.).

11. Korobov A.D., Korobova L.A. [Hydrothermal processes in buried paleorifts of West Siberia and their role in limestone dolomitization and basement rocks saturation with oil]. *Geologiya nefti i gaza – Oil and Gas Geology*, 2005, no. 3, pp. 37–46. (In Russ.).

12. Predtechenskaya E.A. [Catagenetic transformations of Lower–Middle Jurassic deposits within the territory of Tomsk region]. *Mater. region. konf. geologov Sibiri, Dalnego Vostoka i Severo-Vostoka Rossii* [Materials of Regional Conference of Geologists from

Siberia, the Far East and North-Eastern Russia]. Tomsk, Tomsk Polytechnical University Publ., 2000, vol. 1, pp. 192–193. (In Russ.).

13. Predtechenskaya E.A., Burleva O.V. [Catagenetic anomalies in Jurassic oil-and-gas bearing deposits of Tomsk region as indicators of disjunctive dislocations]. *Geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost' otlozheniy yugo-vostoka Zapadno-Sibirskoy plity (Tomskaya oblast. Mater. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.* [Geological structure and petroleum potential of deposits in the south-east of the West Siberian Platform (Tomsk region). Materials of Intern. Scientific-Research Conf.]. Tomsk, SNIIGGiMS Publ., 2006, pp. 77–90. (In Russ.).

14. Predtechenskaya E.A., Vakulenko L.G., Zlobina O.N. [Catagenetic alterations of Lower Jurassic sand rocks of the Frolovskaya facies zone (West Siberia) and their influence on reservoir properties]. *Osadochnye basseyny Urala i prilegayushchikh regionov: zakonomernosti stroeniya i minerageniya* [Sedimentary basins of the Urals and adjacent regions: regularities of structure and minerageny]. Ekaterinburg, 2000, pp. 200–204. (In Russ.).

15. Predtechenskaya E.A., Zlobina O.N., Burleva O.V. [Mineralogical and geochemical anomalies as indicators of fluid dynamic processes in Jurassic oil-and-gas bearing deposits of the West Siberian Plate]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*, 2015, no. 1, pp. 11–24. (In Russ.).

16. Predtechenskaya E.A., Shiganova O.V., Fomichev A.S. [Catagenetic and hydrochemical anomalies in Lower-Middle Jurassic oil-and-gas bearing deposits in West Siberia as indicators of fluid-dynamic processes in disjunctive dislocation zones]. *Litosfera – Lithosphere (Russia).* Ekaterinburg, IGG UB SB RAS Publ., 2009, no. 6, pp. 54–65. (In Russ.).

17. *Resheniya 6-go Mezhvedomstvennogo stratigraficheskogo soveshchaniya po rassmotreniyu i prinyatiyu utochnennykh stratigraficheskikh skhem mezozoyskikh otlozheniy Zapadnoy Sibiri* [Decisions of 6th Interdepartmental Stratigraphic Meeting to review and adopt refined stratigraphic schemes of Mesozoic deposits, West Siberia]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2004. 114 p. (In Russ.).

18. Kontorovich V.A., Solovyev M.V., Kalinina L.M., Kalinin A. Yu. [The role of Meso-Cenozoic tectonics in the formation of hydrocarbon pools in the southern parts of the Kaymysovy arch and Nyurolka megadepression]. *Russian Geology and Geophysics*, 2011, vol. 52, no. 8, pp. 845–858.

19. Serdyuk Z.Ya., Slepokurova L.D. [Geological and geophysical abnormalities and their role in non-anticlinal hydrocarbon traps prospecting in oil and gas strata of Western Siberia]. *Materialy mezhdunar. nauch-techn. konf. "Gorno-geologicheskoe obrazovanie v Sibiri"* [Proceedings of International Scientific Conference. Mining and geological education in Siberia. 100 years in the service for science and industry]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2001, pp. 243–246. (In Russ.).

20. Serdyuk Z.Ya, Erenburg B.G. [On the composition of secondary carbonates, developed in fractures and pores of the basement rocks and sedimentary cover of the Ob-Irtysh interfluve]. *Litologiya i geokhimiya mezozoyskikh otlozheniy Sibiri* [Lithology and geochemistry of Mesozoic deposits in Siberia]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1972, pp. 87–91. (In Russ.).

21. Solovyev M.V. *Geologicheskoe stroenie, tektonika i neftenosnost verkhneyurskikh otlozheniy yuzhnoy chasti Kaymysovskoy NGO (yuzhnye rayony Kaymysovskogo svoda i Nyurolskoy megavpadiny. Avtoref. kand. dis.* [Geological structure, tectonics and oil content of Upper Jurassic deposits in the southern part of the Kaymysovskiy PR (south areas of the Kaymysovsky arch and Nyurolka megadepression). Author's abstract of PhD thesis]. Novosibirsk, 2013. 21 p. (In Russ.).

22. Tishchenko G.I., Sysolyatin N.V., Tishchenko V.M. [High-output hydrocarbon accumulations in the Tomsk region. Peculiarities of their distribution]. *Materialy nauchnoy konferentsii "Aktualnye voprosy geologii i geografii Sibiri"* [Materials of scient. conference "Topical problems of regional geology of Siberia", vol. 2]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 1998, pp. 159–160. (In Russ.).

23. Kharchenko S.I. [Relations of the permeability and porosity and structural and compositional parameters of the Yu1 reservoir of the Vostochno-Pridorozhnoe field] *Vestnik nedropolzovatelya KHMAO* [Bulletin of the subsoil user of KHMAO], 2003, no. 10. Available at: http://www.oilnews.ru/10–10/svyazi-filtracionno-emkostnyx-i-strukturno-veshhestvennyx-parametrov-porod-plasta-yu1-vostochno-pridorozhnogo-mestorozhdeniya. (In Russ.).

24. Shelepov D.A., Korobov A.D. [Dickite in Lower Mesozoic volcanites of the Shaimskiy petroleum region as an indicator of tectono-hydrothermal activization]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya*, 2011, no. 2(41), pp. 51–55. (In Russ.).

25. Boles J.R. Calcite as an indicator of vertical fluid transport in hydrocarbon systems. *Mineralogy for the New Millenium: 18 General Meeting of the International Mineralogical Assotiation*. Edinburgh, IMA Publ., 2002, p. 302.

26. Tessier D., Beaumont A., Pedro G. Influence of clay mineralogy and rewetting rate on clay microstructure. *Soil micromorphology: A basic and applied science. Prof. Conf. Developments in Soil Science* / Ed. L.A.Douglas. San Antonio, Texas, Elsevier Publ., 1990, pp. 115–121.

УДК 550.423:622.342.1(571.61)

ПЕРСПЕКТИВЫ ВОЗРОЖДЕНИЯ КИРОВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИАМУРЬЯ

С. М. Радомский, В. И. Радомская
Институт геологии и природопользования ДВО РАН, Благовещенск, Россия

Представлены возможные перспективы разработки Кировского золоторудного месторождения Приамурья умеренно сульфидной формации. Оценены результаты и охарактеризованы применявшиеся технологии золотодобычи в исторической хронологии. Произведена оценка концентраций группы благородных металлов (Au, Ag, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt) для использования возможностей комплексного извлечения полезных компонентов из минерального сырья, продуктов обогащения и отходов золотодобычи для завершения эксплуатации месторождения и полной рекультивации земель. Были использованы методы атомной абсорбции, вольтамперометрии, фотоколориметрии, каталиметрии и химического анализа с погрешностью по правильности, точности и воспроизводимости результата ≤30 %. Исследовано современное состояние минерально-сырьевой базы рудника. Даны характеристики минерального и химического составов руд и отвалов. Выполнено лабораторное сравнение способов золотодобычи с использованием современных технологий на образцах минерального сырья Кировского месторождения. Предложен способ тиокарбамидного получения всей группы благородных металлов раствором состава (0,5 М H_2SO_4+0,5 М $Fe_2(SO_4)_3$+0,35 М $(NH_2)_2CS$) в технологиях выщелачивания золота, серебра и платиноидов из сульфидных концентратов, руд и хвостов обогащения со степенями извлечения 90–99 %.

Ключевые слова: *благородные металлы, распределение, Кировское золоторудное месторождение, Приамурье.*

PROSPECTS FOR RENEWAL OF THE KIROVSKOYE GOLD ORE DEPOSIT IN THE PRIAMURYE

S. M. Radomskiy, V. I. Radomskaya
Institute of Geology and Nature Management, Far East Branch of RAS, Blagoveshchensk, Russia

Possible prospects for development of the well-known Kirovskoye gold ore deposit in the Priamurye (Cis-Amur River region) of moderately sulphide formation are presented. The results are evaluated and applied gold mining technologies are characterized in historical chronology. Concentrations of the precious metals group (Au, Ag, Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt) were estimated to use possibilities of complex recovery of commercial components from minerals, mineral-dressing products and non utilizable waste to complete the exploitation of deposit and comprehensive land restoration.The methods of atomic absorption, voltammetry, photocolorimetry, catalimetry and chemical analysis were used with an error in accuracy, correctness and reproducibility of result ≤30%. The current state of mineral resources base of the mine is investigated. Characteristics of mineral and chemical compositions of ores and waste dumps are given. The laboratory comparison of application methods in gold mining using methods of modern technologies with samples of mineral raw materials of the Kirovskoye deposit is performed. A method is proposed for the thiocarbamide preparation of the entire group of precious metals with a solution of composition (0,5 M H_2SO_4+0,5 M $Fe_2(SO_4)_3$+0,35 M $(NH_2)_2CS$) in technologies of gold, silver and platinoids leaching from sulphide concentrates, ores and mine refuses with recovery ratios of 90–99%.

Keywords: *precious metals, distribution, Kirovskoye gold ore deposit, Priamurye.*

DOI 10.20403/2078-0575-2020-1-56-62

Амурская область является одним из старейших золотодобывающих регионов России, где добыча золота осуществлялась традиционными способами с середины XIX в. В 1867 г. инженером Н. П. Аносовым, известным первооткрывателем большинства дальневосточных рудно-россыпных месторождений золота, был исследован Джалиндинский участок, получивший впоследствии название Кировского месторождения [8]. Оно было открыто при разработке россыпей золота в верховьях р. Джалинда и по ее притокам – ручьям Ивановскому и Николаевскому, которые непосредственно связаны с коренными рудопроявлениями площади, ограниченной правобережьем рек Большой Янкан и Малый Уркан. Золотодобычу на участке вела Восточно-Амурская золотопромышленная компания с открытия до Первой мировой и гражданской войн, ею было добыто учтенного золота 22,3 т при средней продуктивности золотосодержащих песков 6,2 г/м^3 и общей добыче со всех приисков Джалиндинского золотодобывающего района 49,1 т [1].

Освоение месторождения возобновилось в 1927 г. На Джалиндинском участке было начато строительство золотоизвлекательной фабрики (ЗИФ), и в 1934 г. по завершении работ ей было присвоено имя С. М. Кирова, а само месторождение стало называться Кировским. На фабрике золотосодержащие пески и руды перерабатывались способом амальгамирования, из шлихов извлекались уже более мелкие разности (10–1000 мкм), характеризующие классы пылевидного, мелкого и очень мелкого видимого золота. Переработанная руда складировалась в производственные отвалы.

Извлечение из кондиционного шлихового материала было завершено к 1962 г., так как производительность труда по технологии амальгамирования упала, а себестоимость добытого золота возросла до 200 % рыночной стоимости металла. Было принято решение произвести «мокрую консервацию» месторождения: производственные карьеры были затоплены. По данным треста «Амурзолото», эксплуатировавшего этот участок, было получено 9,65 т золота при среднем его содержании в руде 8,5 г/т и валовом количестве переработанной руды 1,13 млн т. За период добычи переработано 55 рудных жил на глубину до 200 м [8].

В 1992 г. начался новый этап с открытия новых жил, уточнения старых запасов, использования достижений гравиметрического способа добычи золота и метода извлечения цианированием. Первый способ добычи золота из ранее переработанных руд приемлемых результатов не дал, да и второй показал результат всего 25 %. На этом основании руды, концентраты и хвосты месторождения были отнесены к разряду «упорных» для цианирования при сверхнормативном превышении затрат как самих реагентов процесса цианирования (NaCN), так и попутно выделяющихся побочных продуктов, которые чрезмерно загрязняли природную среду и требовали дополнительных затрат на оплату штрафных природоохранных санкций. Оставшееся в отвалах коллоидное, тонкодисперсное и ультратонкодисперсное самородное золото размерности 0,1–10 мкм (по классификации Н. В. Петровской) из отработанных золотоносных руд рентабельно извлечь не удалось. Однако было установлено, что эти руды легко обогащаются по гравитационно-флотационным схемам. Поэтому далее прирост ресурсов и запасов связывался с переоценкой и доразведкой рудных жил, штокверковых зон, рудных отвалов, а также с использованием новых научных знаний.

К настоящему времени появилась современная технология извлечения благородных металлов (БМ). Это кислотное выщелачивание растворами тиокарбамида – альтернатива цианированию, не уступающая ему по технологическим параметрам извлечения золота. При этом нагрузка на природную среду более щадящая, подземные и поверхностные воды, почвы и атмосферный воздух не загрязняются чрезмерно продуктами технологической переработки. Амурский регион находится в группе лидеров среди золотодобывающих субъектов РФ, поэтому представляется актуальным использовать достижения современной науки для сохранения лидирующих позиций в отрасли. Цель работы – исследование использования технологии выщелачивания золота, серебра и металлов группы платины подкисленными растворами тиокарбамида для количественного и более полного извлечения благородных металлов из рудных жил и отвалов Кировского золоторудного месторождения.

Материалы и методы исследования

В работе использованы и проанализированы образцы руд и отходов ЗИФ, представляющие собой амальгамированные концентраты руд Кировского месторождения, которые были переработаны по гравитационному способу обогащения.

Количественное определение содержаний БМ включая золото, серебро и металлы группы платины, проведено после отжига проб при 650 °C в течение 1,5 ч для устранения мешающего определению влияния сульфидов, арсенидов и органического углерода. Навески проб золота и серебра (5–10 г) вскрывались раствором смеси кислот HCl и HNO_3 в отношении 3:1 с последующим экстракционным атомно-абсорбционным определением золота в растворе 0,05 М дибутилсульфида в метилбензоле и иодидных комплексов серебра в растворе 3-метилбутанола-1 [2, 11, 12]. Методика определения металлов группы платины заключалась в пробирном концентрировании элементов из навески 10 г путем предварительного сплавления на никелевый штейн, последующим растворением его в растворе 6 М соляной кислоты и отделением нерастворимого остатка элементов группы платины. Далее полученный остаток сплавлялся с пероксидом натрия, выщелачивался бидистиллированной водой и переводился в мерную колбу 25 см^3, из которой отбирались аликвоты на дальнейшие раздельные определения платиноидов. При этом аликвота осмия разбавлялась 0,1 М раствором уксусной кислоты, а остальные платиновые металлы – 2–3 М раствором HCl. Содержание рутения, осмия и иридия определяли кинетическим, каталиметрическим и фотоколориметрическими методами соответственно. Вторичное концентрирование платины, палладия, родия проводили методом экстракции смесью 0,025 М растворов ди-2-этилгексилдитифосфорной кислоты и ортоалкиланилина в метилбензоле из подготовленных ранее солянокислых растворов [2, 12]. Анализы выполняли на атомно-абсорбционных спектрофотометрах «Hitachi 180–50» и «SOLAAR M-6».

БМ в природной среде распределены весьма неравномерно, поэтому при исследовании их роли и поведения в геохимических процессах необходимо надежно и точно определять следовые количества. Это задается условиями использования представительной навески для применяемых методов и использованием накопленного опыта в современных эффективных схемах анализов, связанных с предварительной подготовкой, отделением от матрицы и концентрированием, что позволяет избавиться от матричного эффекта и значительно повысить соотношение сигнал/шум [3, 4]. Внутрилабораторный контроль по воспроизводимости результатов проводился методом инверсионной вольтамперометрии из навески 1 г по государственным контрольным образцам состава (ГСО) минерального сырья [6].

Результаты и обсуждение

Джалиндинское рудное поле вытянуто в меридиональном направлении и имеет длину 8–10 км, ширину 5–6 км. Располагается оно над Тукурингрским глубинным разломом, закрытым слабодислоцированными юрскими песчано-глинистыми отложениями Стрелкинской впадины, и разделяет структуры Станового комплекса и вулканогенные проявления структур Монголо-Охотского рудного пояса. Оруденение пространственно связано с Джалиндинским массивом раннемеловых гранитоидов, прорывающих раннекристаллический фундамент протерозойских биотит-роговообманковых и биотит-гнейсовых кристаллических сланцев. Геологическая схема Кировского золоторудного месторождения имеет блочную структуру, разграничивающую проявления вертикальной и горизонтальной зональности. Схема по данным Л. П. Гурова (1978) приведена на рисунке [5]. Обилие и разнообразие минерального состава руд Кировского месторождения привело к появлению нескольких различных названий, под которыми месторождение известно в литературе [8].

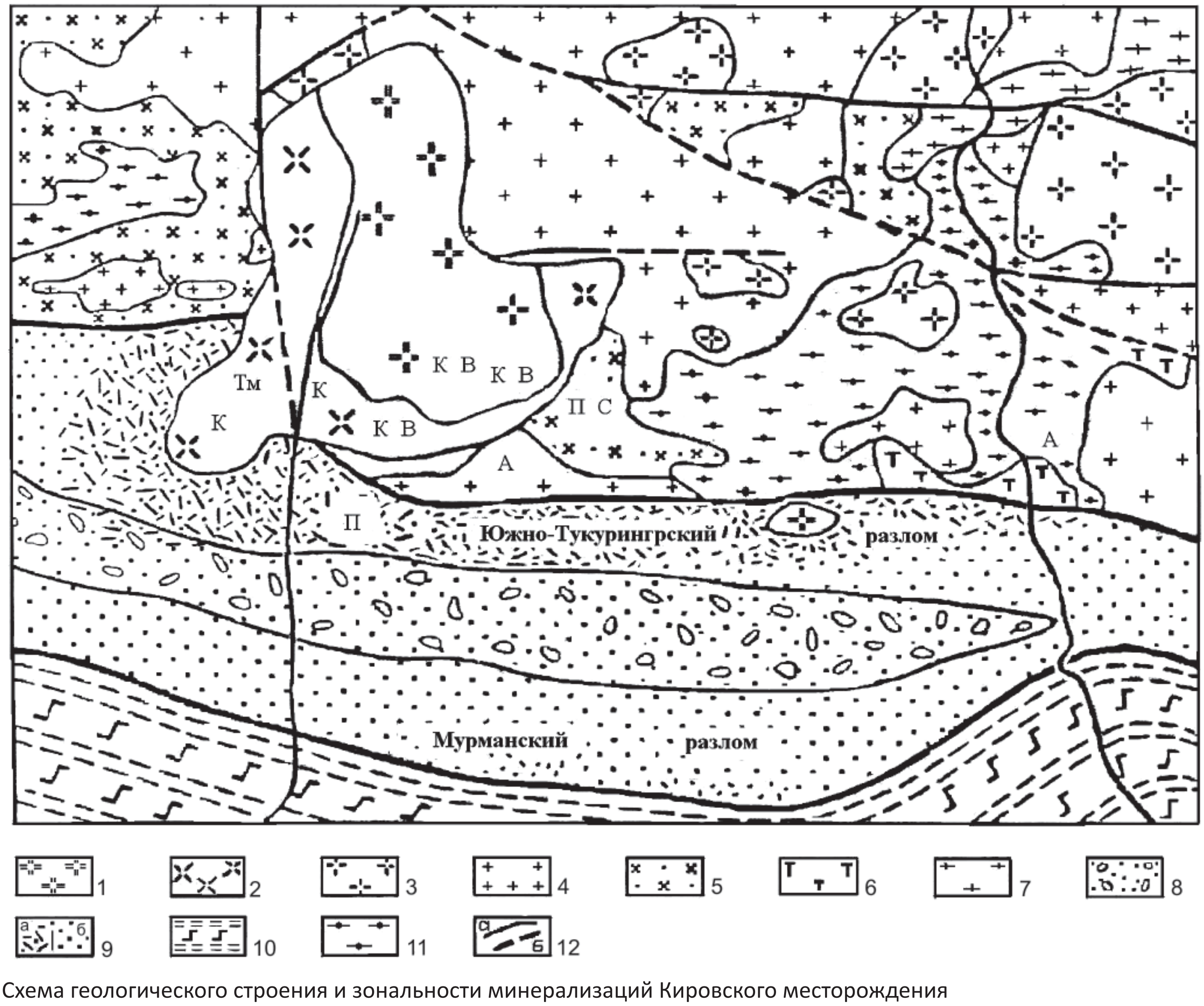


Схема геологического строения и зональности минерализаций Кировского месторождения

1–2 – гранитоиды Джалиндинского массива (верхнеюрские и нижнемеловые): 1 – гранодиориты, 2 – диориты, кварцевые диориты и их ортоклазсодержащие разности; 3 – граниты лейкократовые среднезернистые (юрские); 4 – биотитовые и биотит-роговообманковые граниты и гранодиориты (юрские); 5 – диориты и кварцевые диориты (среднепалеозойские); 6 – основные и ультраосновные породы (протерозойские); 7 – гнейсовидные биотитовые, биотит-роговообманковые граниты, гранодиориты (нижнепротерозойские); 8–9 – уганская свита (верхнеюрская): 8 – грубозернистые песчаники, гравелиты, конгломераты верхней подсвиты, 9 – песчаники и алевролиты с прослоями конгломератов нижней подсвиты (а – ороговикованные, б – неороговикованные); 10 – вулканогенно-осадочные породы янканской серии (среднепротерозойские) Pt; 11 – биотит-роговообманковые, биотитовые гнейсы с прослоями амфиболитов и кристаллические сланцы урканской серии (нижнепротерозойские) A_2; 12 – разломы: а – достоверные, б – предполагаемые; участки с минерализацией: Тм – турмалин-магнетитовой, К – существенно кварцевой, В – висмутин-халькопиритовой, А – кварц-антимонитовой, П – пирит-арсенопиритовой, С – полиметаллической

Кировское гидротермальное месторождение относится к мезотермальному типу, сформировано на глубине 1–1,5 км, на что указывает обилие порфировых структур в джалиндинских гранитоидах. Россыпные и рудные площади пространственно совмещены и связаны с проявлениями верхнемезозойского магматизма, который с наложенной впоследствии гидротермальной деятельностью контролировался разрывными структурами и системами нарушений, имеющих субширотный региональный разлом. Золотые россыпи приурочены ко всей речной системе, в истоках которой находится верхнеюрский – нижнемеловой Джалиндинский интрузив гранитоидов. Абсолютный возраст оруденения был установлен по кварцитам и кальцитам изохронным рубидий-стронциевым методом – 131–126 млн лет (нижний мел). Структурная зональность возникла в результате тектонических движений различного характера в период длительного процесса рудоотложения. На месторождении известно более 300 средних и мелких рудных жил, длиной 600–700 м, средней мощностью 1,5 м, имеющих крутое (60–90°) падение в разные стороны и характеризующихся различными минерализациями [13].

Для месторождения не характерна вертикальная зональность в распределении минеральных ассоциаций и отдельных минералов, но довольно часто встречается наложение разнотемпературных ассоциаций в отдельных рудных телах, особенно в крупных телах субширотного простирания. По этой причине выделяются два типа горизонтальной зональности (температурная и структурная), а также шесть минеральных ассоциаций, различающихся по времени образования и часто пространственно разобщенных: 1) турмалин-магнетитовая, 2) кварцевая, 3) висмутин-халькопиритовая, 4) пирит-арсенопиритовая, 5) полиметаллическая, 6) антимонитовая. Все они золотоносны и дифференцируются по размерам зерен, форме, пробе, срастанию с различными минералами, а также по среднему содержанию БМ в минеральных ассоциациях и отдельных минералах [5]. Наиболее крупные рудные тела обычно имеют смешанный минеральный состав, но преобладает одна из перечисленных минеральных ассоциаций. Основная масса золота связана с висмутином и тетрадимитом.

Рудные жилы сложены белым кварцем, арсенопиритом, халькопиритом, висмутитом, пиритом, магнетитом, сфалеритом, тетрадимитом, шеелитом, пирротином, блеклыми рудами и энаргитом. Многочисленные жильные образования, сопровождающие интрузии, отличаются от более древних и крупных интрузий пестротой состава, что характеризует их как близповерхностные и связывает с глубинными разломами по наличию редкоземельных элементов. Молодые интрузии часто сопровождаются золоторудной минерализацией. По химическому составу руды содержат (%) As (2), Sb (1,5), Bi (1,6), Zn (2), Cu (1), Pb (2), W (0,4), Ni (0,6). В рудах преобладает мелкое (до 2 мм) чешуйчатое и пластинчатое золото.

Золото, серебро и металлы группы платины выделялись на всех этапах гидротермального процесса – от самого начала до конца включительно, образуя как высокотемпературные генерации минералов 1–4-й минеральных ассоциаций с высокопробным (920–980 ‰) золотом, так и низкотемпературной генерации 5–6-й минеральных ассоциаций с низкопробным (820–870 ‰).

С понижением температуры образования в золотоносных рудах снижаются проба золота и концентрации золота и металлов группы платины, но увеличиваются концентрации серебра вплоть до образования им самостоятельных минеральных фаз. В целом следует отметить, что формирование минеральных ассоциаций и последовательность кристаллизации минералов отдельных ассоциаций на месторождении не отвечает идеальной последовательности отложения минералов В. Линдгрена и др., выявленной на основании изучения многих гидротермальных месторождений [8].

БМ на месторождении распространены крайне неравномерно (золото 5–100 г/т, серебро 6–135 г/т), а в отвалах средние концентрации золота 20–30 г/т [13]. Повышенные содержания БМ фиксировались только в рудных жилах, достигая следующих максимальных значений при сверхнормативном расхождении по интервалам содержаний (г/т): Ru 0,7; Rh 0,3; Pd 0,5; Ag 135; Os 0,4; Ir 0,8; Pt 1; Au 125. По отраслевым правилам обработки первичной геохимической информации в подсчет результатов, представленных в таблице, они не попали [3, 4].

Выделения металлов группы платины на Кировском золоторудном месторождении в общем относятся к рудопроявлениям Верхнеамурской провинции, Соловьевского потенциального платиноносного рудно-россыпного узла и были образованы при высоких температурах из сульфидизированной магмы. Она представлена мелкодисперсными частицами (до 100 мкм) и характеризуется следующими минералами ассоциаций: сперрилит, иридосмины, реже самородная платина, изоферроплатина, палладий, а также эрлихманит, лаурит и другие сульфиды, арсениды и сульфоарсениды [9]. Источниками платиновой минерализации являются платиносодержащие россыпи золота, тогда как коренные месторождения платиноидов не выявлены и их концентрации значительно меньше промышленных рудных содержаний.

Серебряное оруденение было открыто в процессе освоения месторождения и оказалось обособлено от золоторудного вследствие технологической ориентации на добычу именно золота, в результате чего большая его часть рассеивалась по рудному полю, включалась в процесс техногенной миграции и уносилась по водотокам поверхностными водами.

Валовые концентрации благородных металлов в руде и отвалах ЗИФ Кировского золоторудного месторождения

Элемент	Рудные породы	Отвалы ЗИФ	Кларк в земной коре [14]
Ru	0,014–0,019 / 0,017	0,024–0,048 / 0,036	0,0001
Rh	0,001–0,005 / 0,003	0,003–0,009 / 0,006	0,00006
Pd	0,005–0,010 / 0,007	0,010–0,020 / 0,015	0,0004
Ag	1–9 / 5	10–20 / 15	0,07
Os	0,001–0,003 / 0,002	0,005–0,011 / 0,008	0,00005
Ir	0,014–0,026 / 0,015	0,12–0,38 / 0,20	0,00005
Pt	0,10–0,42 / 0,26	0,18–0,50 / 0,34	0,0004
Au	1,11–3,60 / 2,36	20–40 / 30	0,0025

Примечание. В числителе – интервал определяемых содержаний, ppm, в знаменателе – среднее значение, ppm.

Современная концентрация серебра в почвогрунтах Соловьевского рудно-россыпного узла достигает значений 1–5 г/т и не проникает на глубину более 0,3 м.

Для комплексного извлечения БМ из сульфидных концентратов, руд и хвостов обогащения, предложен способ тиокарбамидного выщелачивания раствором следующего состава: 0,5 М H_2SO_4+0,5 М $Fe_2(SO_4)_3$+0,35 М $(NH_2)_2CS$. В лабораторных условиях показано, что извлечение в раствор выщелачивания составляет 90–99 % при следующих параметрах: соотношении твердое/раствор 1/10, частота перемешивания пульпы 1 об/с, стандартные условия (Р 0,101 МПа, Т 298 К) и нагревание до Т = 308 К [7, 12]. Реакция тиокарбамидного выщелачивания является автокаталитической и сильно ускоряется сульфид-ионами $[S]^{2-}$ при значениях окислительно-восстановительного потенциала раствора с Eh = 0,1–0,4 В и раствора с Eh > 1,0 В. В то же время в технологиях щелочного кучного выщелачивания золота цианированием сульфид-ионы существенно замедляют и останавливают процесс растворения, делая содержащие их концентраты и руды «упорными» для выщелачивания золота.

Интервал Eh = 0,1–0,4 В может использоваться в вариантах подземного кислотного тиокарбамидного выщелачивания, а значение Eh > 1,0 В – в технологических схемах кислотного надземного кучного выщелачивания, где раствор 0,5 М H_2SO_4 и 0,5 М $Fe_2(SO_4)_3$ создает опорный потенциал Eh = 0,7 В.

Технологию тиокарбамидного выщелачивания золота из руды и отвалов ЗИФ Кировского месторождения впервые опробовали в лабораторных условиях в 2004 г. Оптимальные результаты были достигнуты при pH раствора 1,2. Равновесие достигалось за 0,5–1 ч, степень извлечения золота 20–50 % и концентрации Au^+ 0,71 моль/дм^3. Для технологического извлечения со степенями свыше 98 % необходимо увеличение количества полных циклов растворения продолжительностью от 45 мин до 6 ч, полное отделение раствора от рудного материала. Попутно установлено, что предварительная обработка раствором серной кислоты без тиокарбамида удаляет до 80 % примесей реагирующих неблагородных металлов и сокращает количество циклов растворений с тиокарбамидом до 5, а увеличение температуры выщелачивающего раствора до 308 К, также уменьшает количество циклов растворений до 5. Тиокарбамид устойчив и хорошо работает в стандартных условиях, а при Т > 308 К начинаются процессы разложения и его использование становится менее рентабельным. В 2013 г. было показано, что из руд и концентратов при тиокарбамидном выщелачивании кроме золота количественно извлекается и серебро – почти 98 %. Реакция работает в широком диапазоне концентраций ее компонентов (0,005–10,0 %), тиокарбамида, сульфата железа (III) и серной кислоты [11]. По своей эффективности реакции тиокарбамидного выщелачивания БМ в кислой среде в присутствии $Fe_2(SO_4)_3$ значительно превосходят по скорости только тиокарбамидное выщелачивание, исходя из теоретического анализа стандартных окислительно-восстановительных потенциалов и физико-химических условий процесса, что подтверждает их автокаталитический характер [12]. Использование данного способа извлечения БМ на первичных рудах приводит к возрастанию времени растворения вследствие увеличения класса крупности выделений самородного золота [10].

По геологической обстановке Кировское рудное поле самое перспективное на оруденение БМ в этом районе, и дальнейшее развитие золотодобычи следует увязывать именно с ним: с переоценкой и доразведкой кварцево-рудных тел, штокверков, переработкой старых отвалов с использованием новейших технологий.

В настоящее время химической промышленностью освоен выпуск тиокарбамида в Германии, Китае и РФ. Десять отечественных предприятий на бирже предлагают реагент, фасованный в мешки по 25 кг при средней стоимости 200 руб./кг. Тиокарбамидный метод извлечения БМ обладает рядом достоинств: малой токсичностью, высокой избирательностью по отношению к БМ, кинетической активностью, и обеспечивает производство золота в промышленном масштабе как в надземном варианте, так и в подземном. Электрохимическая реакция кислотного тиокарбамидного окисления БМ может существенно, комплексно и качественно превзойти реакцию цианирования золота в щелочной среде, повсеместно используемую в процессе извлечения Au из руд месторождений, и снизить токсическую нагрузку на биосферу при его добыче [12]. Важным преимуществом тиокарбамидного выщелачивания золота по сравнению с классическим цианидным является значительное снижение химической «упорности» минерального сырья перерабатываемых концентратов сульфидных, арсенопиритных и сульфоарсенидных золотосодержащих руд. Попутное извлечение серебра и металлов группы платины также качественно повышает уровень используемой технологии тиокарбамидного выщелачивания при существенном снижении эколого-экономических издержек. Важное преимущество рассматриваемого способа для экологии – снижение влияния мышьяка на природную среду, которое является существенной проблемой многих действующих технологий переработки и экологических природоохранных мер. В нашем случае в твердых отходах Кировской ЗИФ будет всего до 20 % As_2O_3, что минимизирует негативное воздействие. Кроме того, этот метод можно использовать в подземном варианте при выщелачивании из линз рудных тел, расположенных между водонепроницаемыми слоями глин, которые широко распространены на Джалиндинском рудном поле, без вскрытия горных пород. Это также повышает экономическую эффективность данного способа извлечения.

Из полученных растворов БМ можно выделить одним из следующих представленных вариантов: 1) обработкой растворами щелочей с образованием соответствующих гидроксидов с последующим отжигом и сплавлением; 2) обработкой растворами щелочных сульфидов, получением осадка сульфидов металлов и их сплавлением; 3) по ионообменным реакциям с твердыми анионообменными смолами; 4) экстракционными методами с использованием групповых реагентов (алкиланилинов, диэтилгексилдитиофосфорной кислоты и других в растворе органических растворителей, например метилбензоле и др.); 5) электролизом [12].

Выводы

Сульфид-ионы $[S]^{2-}$ замедляют и останавливают процесс щелочного цианидного выщелачивания концентратов, руд и хвостов обогащения, понижая степень извлечения золота до значений ниже количественных, и делают их «упорными» для цианирования, тогда как в процессе кислотного тиокарбамидного выщелачивания сильно увеличивают скорость реакции и являются катализаторами, повышающими эффективность технологии извлечения.

Предложен способ тиокарбамидного получения всей группы благородных металлов раствором состава 0,5 M H_2SO_4+0,5 M $Fe_2(SO_4)_3$+0,35 M $(NH_2)_2CS$ в технологиях выщелачивания золота, серебра и платиноидов из сульфидных концентратов, руд и хвостов обогащения со степенями извлечения 90–99 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Анерт Э. Э.** Богатство недр Дальнего Востока. – Хабаровск; Владивосток: Книжное дело, 1928. – 932 с.

2. **Биогеохимия** благородных металлов в водотоках бассейна реки Амур / В. И. Радомская, С. М. Радомский, Ю. Г. Пискунов, Н. Г. Куимова // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2005. – № 4. – С. 317–322.

3. **ГОСТ** Р 52599–2006. Драгоценные металлы и их сплавы. Общие требования к методам анализа. Введ. 2008–01–01. – М.: Стандартинформ, 2007. – 10 с.

4. **ГОСТ** Р 55558–2015. Руда сульфидная медно-никелевая. Масс-спектрометрический метод определения содержания платины, палладия, родия, рутения, иридия и золота с предварительным коллективированием на никелевый штейн. Введ. 2014–07–01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 36 с.

5. **Золотая** минерализация Верхнего и Среднего Приамурья / отв. ред. И. И. Фатьянов. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. – 170 с.

6. **Колпакова Н. А.** Определение платиновых металлов в минеральном сырье методом инверсионной вольтамперометрии (обзор) // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2014. – Т. 80, № 9. – С. 5–13.

7. **Лурье Ю. Ю.** Справочник по аналитической химии. – М.: Химия, 1989. – 448 с.

8. **Моисеенко В. Г., Эйриш Л. В.** Золоторудные месторождения Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 352 с.

9. **Платиноносность** Дальнего Востока / В. Г. Моисеенко, В. А. Степанов, Л. В. Эйриш, А. В. Мельников. – Владивосток: Дальнаука, 2004. – 176 с.

10. **Радомская В. И., Радомский С. М., Лосева О. В.** Применение тиомочевины для концентрирования золота из вторичного сырья // Вестн. ДВО РАН. – 2004. – № 1. – С. 80–86.

11. **Радомская В. И., Радомский С. М., Павлова Л. М.** Условия применения технологий тиокарбамидного выщелачивания золота и серебра // Георесурсы. – 2013. – Т. 55, № 5. – С. 22–27.

12. **Радомский С. М.** Тиокарбамидное выщелачивание платиновых металлов // Химическая технология. – 2019. – Т. 20, № 1. – С. 35–41.

13. **Эйриш Л. В.** Металлогения золота Приамурья (Амурская область, Россия). – Владивосток: Дальнаука, 2002. – 194 с.

14. **Wedepohl K. H.** The composition of the continental crust // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 1995. – Vol. 59, no. 2. – P. 1217–1232.

REFERENCES

1. Anert E.E. *Bogatstvo nedr Dalnego Vostoka* [Mineral wealth of the Russian Far East]. Khabarovsk-Vladivostok, Knizhnoe delo Publ., 1928. 932 p. (In Russ.).

2. Radomskaya V.I., Radomskiy S.M., Piskunov Yu.G., Kuimova N.G. [Biogeochemistry of noble metals in water streams of the Amur River Basin]. *Geoekologiya, inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2005, no. 4, pp. 317–322. (In Russ.).

3. *GOST R52599–2006. Dragotsennye metally i ikh splavy. Obshchie trebovaniya k metodam analiza. Vved. 2008–01–01.* [State Standard R52599–2006. Precious metals and their alloys. General requirements to analysis methods. Intr. 2008–01–01.]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russ.).

4. *GOST R55558–2015. Ruda sulfidnaya mednonikelevaya. Mass-spektrometrichekiy metod opredeleniya soderzhaniya platiny, palladiya, rodiya, ruteniya, iridiya i zolota s predvaritel'nym kollektivirovaniem na nikelevyy shteyn. Vved.2014–07–01.* [State Standard R55558–2015. Sulphide copper-nickel ore. Mass-spectrographic method for determination of platinum, palladium, rhodium, ruthenium, iridium and cold content with preliminary collecting for nickel matte. Intr. 2014–07–01]. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 36 p. (In Russ.).

5. Fatyanov I.I., ed. *Zolotaya mineralizatsiya Verkhnego i Srednego Priamurya* [Gold mineralization of Upper and Middle Priamurye]. Vladivostok, 1978. 170 p. (In Russ.).

6. Kolpakova N.A. Stripping voltammetry in determination of platinum group metals in mineral raw materials (review). *Industrial Laboratory. Diagnostics of Materials*, 2014, vol. 80, no. 9, pp. 5–13.

7. Lurye Yu.Yu. *Spravochnik po analiticheskoy khimii* [Handbook of analytical chemistry]. Moscow, Khimiya Publ., 1989. 448 p. (In Russ.).

8. Moiseenko V.G., Eyrish L.V. *Zolotorudnye mestorozhdeniya Vostoka Rossii* [Gold ore deposits of the East of Russia]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 1996. 352 p. (In Russ.).

9. Moiseenko V.G., Stepanov V.A., Eyrish L.V., Melnikov A.V. *Platinonostnost Dalnego Vostoka* [Platinum Mineralization of the Far East]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2004. 176 p. (In Russ.).

10. Radomskaya V.I., et al. [Application of sulphourea for concentration of gold from secondary raw materials]. *Vestnik DVO RAN*, 2004, no. 1, pp. 80–86. (In Russ.).

11. Radomskaya V.I., Radomskiy S.M., Pavlova L.M. [Terms of technologies application of thiourea leaching of gold and silver]. *Georesursy*, 2013, vol. 55, pp. 22–27 (In Russ.).

12. Radomskiy S.M. [Thiourea leaching of platinum metals]. *Khimicheskaya tekhnologiya*, 2019, vol. 20, no. 1, pp. 35–41. (In Russ.).

13. Eyrish L.V. *Metallogeniya zolota Priamurya (Amurskaya oblast, Rossiya)* [Metallogeny of the Priamurye gold (Amur region, Russia)]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2002. 194 p. (In Russ.).

14. Wedepohl K.H. The composition of the continental crust. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1995, vol. 59, no. 2, pp. 1217–1232.

УДК 553.078

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗМЕЩЕНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Г. И. Дьяченко, Г. Е. Асеев

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

Геометрические системы, описывающие положение рудных месторождений и вулканов, морфологически аналогичны стационарным волновым структурам, как природным, так и экспериментальным. Эти структуры формируются в результате перераспределения и концентрации энергии и описываются общими волновыми законами. Формирование крупных месторождений требует значительных затрат энергии, которая относительно равномерно поступает из недр и по законам синергетики концентрируется в узких кольцах. Только в них энергетически обеспечивается формирование крупных месторождений. При этом рудоотложение происходит там, где существуют благоприятные структурно-геохимические условия.

Ключевые слова: *геометрические системы, рудные месторождения, энергия, законы синергетики.*

ENERGY NATURE OF GEOMETRIC REGULARITIES OF ORE DEPOSITS

G. I. Dyachenko, G. E. Aseev

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

Geometric systems describing the location of ore deposits and volcanoes are morphologically similar to stationary wave structures, both natural and experimental. These structures are formed as a result of redistribution and concentration of energy and are described by general wave laws. The formation of large deposits requires a significant expenditure of energy, which comes relatively evenly from the bowels and, according to the laws of synergetics, is concentrated in narrow rings. Only in them is the formation of large deposits energetically ensured. In this case, ore deposition occurs where favorable structural and geochemical conditions exist.

Keywords: *geometric systems, ore deposits, energy, laws of synergetics.*

DOI 10.20403/2078-0575-2020-1-63-69

Формирование рудных месторождений требует значительных затрат энергии, и эти затраты существенно возрастают при увеличении масштабов рудных объектов. Как источник энергии рудого процесса в разное время рассматривались конкретные интрузивы, с которыми ассоциируют месторождения, или глубинные сквозьмагматические растворы.

В статье рассматривается третий возможный вариант энергообеспечения рудного процесса – в результате автоволновых процессов. Постепенное накопление энергии на значительной площади до определенного уровня приводит к переходу процесса в режим с обострением. При этом энергия концентрируется в узких кольцах, в которых при наличии структурно-геохимических условий формируются крупные месторождения. Как природная непосредственно наблюдаемая модель этого процесса рассматривается кольцевое расположение вулканов.

К настоящему времени накоплен огромный фактический материал, и в том числе металлогенический, который все сложнее использовать в полном объеме. Все данные обобщены в виде карт различной специализации и различного масштаба, что делает возможным их обработку методами элементарной геометрии, исключающими различные гипотетические представления, и, таким образом, выявить реальные закономерности в размещении месторождений.

Пространственные, геометрические закономерности размещения рудных месторождений в разное время изучались многими авторами. Результаты, полученные в одних регионах, оказывались, неприменимы в других, поэтому воспринимались геологами неоднозначно, чему во многом способствовало непонимание природы таких закономерностей и невозможность экспериментальной их проверки.

В «докосмический» период основное внимание уделялось поиску регулярных тектонических сеток различного масштаба. После того как высотная аэрофотосъемка показала широкое распространение кольцевых структур, возник интерес к их металлогенической роли. Были опубликованы обобщающие работы [6, 11]. Интерес к металлогенической роли кольцевых структур сохраняется и сейчас. До сих пор их роль в локализации месторождений объясняется главным образом повышенной проницаемостью геологической среды на некоторых участках самих структур или вблизи от них.

В 1984–2011 гг. Г. И. Дьяченко выполнил анализ взаимного расположения 290 крупных и средних месторождений железа, полиметаллов, ртути, золота и урана в Болгарии, Чехии, Казахстане, Западной Сибири и Восточном Забайкалье, а также в Канаде, на Украине и на севере Китая [1, 3, 4].

В каждом регионе рассматривалось взаимное расположение только наиболее крупных месторождений. Тем самым допускалось, что общим для крупных месторождений и их принципиальным отличием от мелких рудных объектов является значительный расход энергии при формировании. Иными словами, именно расход энергии, а не структурно-геохимические условия в первую очередь определяет масштаб оруденения. Такой подход позволил выявить общие закономерности размещения месторождений и сделать некоторые выводы об их природе.

Основой для работы служили карты полезных ископаемых и металлогенические м-бов 1:500 000 и 1:1 000 000, в отдельных случаях других масштабов.

Методика работ кратко изложена в ряде статей и монографии [2].

В результате выполненных работ было выяснено следующее:

1) месторождения крайне редко располагаются на продолжении или в непосредственной близости от кольцевого разлома [2];

2) через 3–4 месторождения может быть проведена окружность определенного радиуса (далее геометризирующая окружность – ГО) [2, 3];

3) пространство, ограниченное ГО, по составу месторождений, уровню эрозионного среза и (или) рельефу в разной степени отчетливо разделяется «прямой антисимметрии» на северо-западную и юго-восточную части [4];

4) месторождения на ГО располагаются неравномерно: большая часть тяготеет к одной (обычно юго-западной) полуокружности; если же окружностью описывается положение месторождений неодинакового состава, то оно контролируется разными полуокружностями [2].

Полученные результаты дали возможность сделать вывод, что положение месторождений контролируется системами криптоморфных структур изостатического характера. Близость площади (и, соответственно, масс) двух полукругов, центрального круга и внешнего кольца позволяет им длительно существовать в колебательном режиме [2].

Это допущение позволило рассчитать расстояние между парами окружностей и выполнить обратный прогноз: по месторождениям полезных ископаемых, показанным на карте 1956 г., выделить узкое полукольцо, в пределах которого через десятки лет были выявлены крупные месторождения [1].

Несмотря на довольно интересные результаты, понимание природы рудоконтролирующих кольцевых структур в традиционных геологических категориях остается трудным. Геологические масштабы пространства и времени делают невозможным проведение корректных экспериментов по размещению рудных месторождений.

Но масштабная инвариантность волновых процессов позволяет сопоставлять систему, которая описывает положение рудных месторождений со структурами, образованными стоячими волнами различного размера: песчаные структуры Хладни и атмосферные термобарические сейши акад. В. В. Шулейкина [12]. Механизм их образования подробно описан в литературе. Эти структуры, независимо от размеров и характера среды, формируются в результате перераспределения и концентрации энергии в соответствии с законами синергетики.

Как природный эксперимент, доступный непосредственному наблюдению, можно рассматривать размещение вулканов. Охарактеризованы вулканические поля о. Исландия, Центральной Африки и Северной Чехии (рис. 1). Кольцевое размещение вулканов не вызывает сомнений и во многом аналогично положению крупных рудных месторождений.

На о. Исландия пять крупных активных вулканов обобщаются полуокружностью радиусом 324 км, на которой расположен и центр малой окружности радиусом 108 км, проходящий еще через четыре вулкана (рис. 2) [8]. При этом все крупные активные вулканы и три четверти острова расположены в пределах юго-восточного полукруга.

Рис. 1. Положение рассмотренных вулканических полей 1 – Центральная Африка, 2 – Исландия, 3 – Северная Чехия

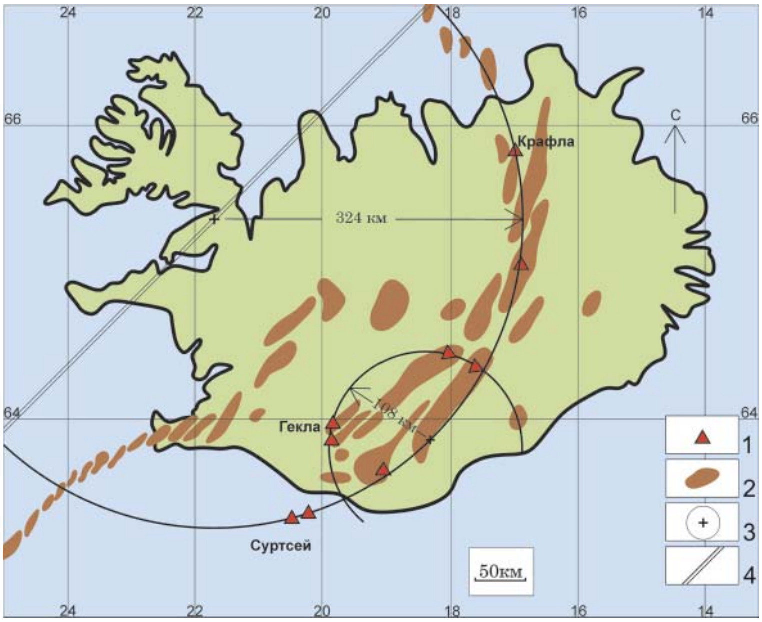


Рис. 2. Геометрическое описание положения основных вулканов Исландии

1 – крупные действующие вулканы; 2 – область распространения толеитовых лав; 3 – окружности, их центры; 4 – ось антисимметрии

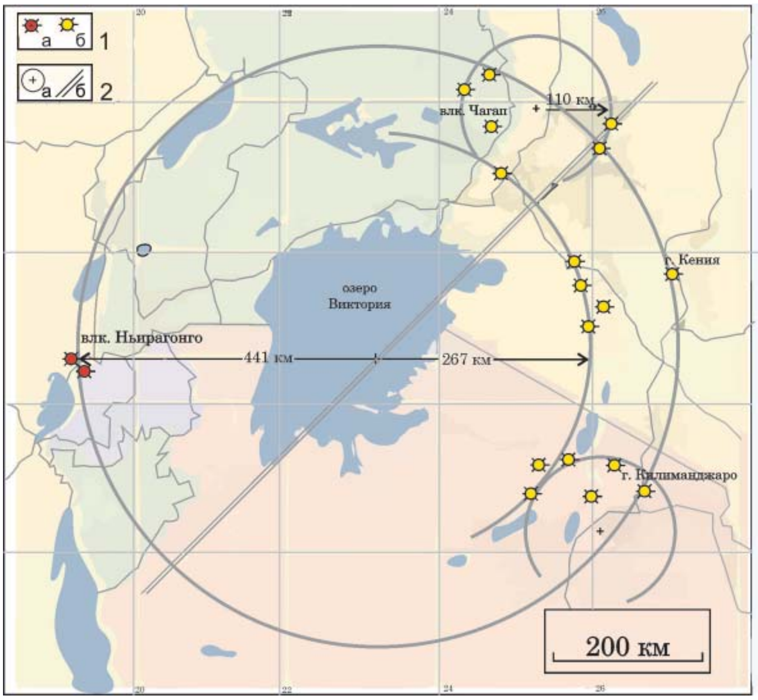


Рис. 3. Геометрическое описание положения основных вулканов центральной части Восточно-Африканского рифта

1 – крупные полигенные вулканы: а – действующие, б – потухшие; 2 – элементы геометризации: а – окружности и их центры, б – ось антисимметрии

В центральной части Восточно-Африканского рифта окружность радиусом 441 км может быть проведена через четыре крупные вулканические кальдеры на востоке и два активных крупных вулкана на западе. В непосредственной близости от этой окружности расположены центры двух малых окружностей радиусом 110 км, каждая из которых объединяет три и четыре крупные кальдеры соответственно (рис. 3) [8]. К окружности радиусом 267 км, точнее к ее восточной полуокружности, тяготеет восемь крупных кальдер.

Асимметричное оз. Виктория расположено в пределах западного полукруга, а большинство крупных вулканических кальдер описывается восточной полуокружностью (см. рис. 3).

Общее для рассмотренных примеров – асимметрия в размещении вулканических аппаратов: большинство из них располагается в юго-восточном полукруге. Аналогичную позицию занимают многие крупные месторождения золота, урана, железа, ртути [2, 4]. Следует также отметить, что к менее продуктивной северо-западной полуокружности рифта тяготеют активные вулканы, а на юго-востоке развиты кальдеры.

На Енисейском кряже аналогичная ситуация: окружность радиусом 74 км описывает положение Тенегинского и Горевского свинцово-цинковых месторождений на юго-западе и четырех железорудных месторождений на северо-востоке [4].

На севере Чехии широко развиты плиоцен-плейстоценовые «неовулканиты» – базальты и вулканические брекчии. Но только нефелиновые и оливиновые базальты картируются в пределах полукольца, ширина которого 20 км и средний ра-

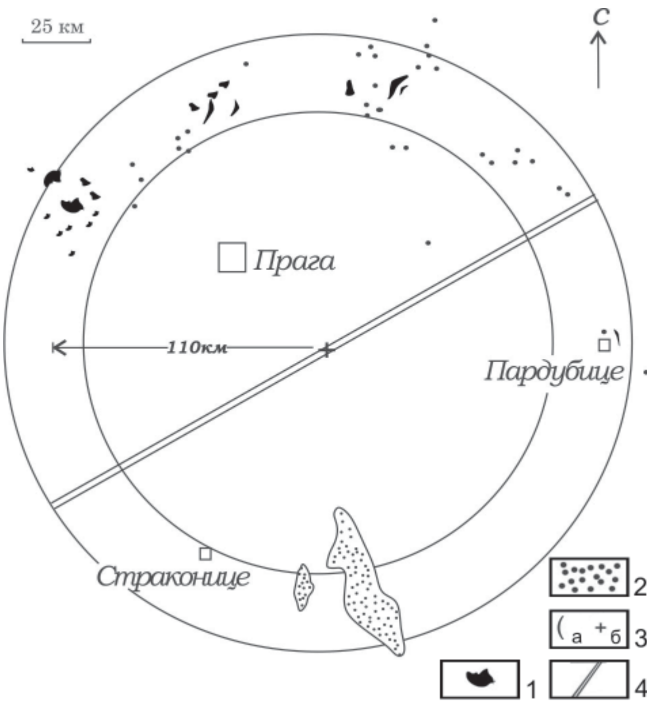


Рис. 4. Геометрическое описание положения оливиновых и лейцитовых базальтов Чешского массива

1 – места излияния оливиновых и лейцитовых базальтов; 2 – песчано-глинистые отложения сенона; 3 – окружности (а) и их центры (б); 4 – ось антисимметрии

диус 105 км. В этом же кольце расположены все месторождения урана Чешской меловой плиты [14] (рис. 4).

Таким образом, общее для месторождений и вулканов – концентрация энергии на ограниченном пространстве в пределах узких полуколец и ее периодическое интенсивное выделение, формирование однотипных по форме систем размещения как месторождений, так и вулканов. Эти структуры формируются в результате перераспределения и концентрации энергии в узких кольцах в соответствии с законами синергетики.

Как утверждают Е. Н. Князева, С. П. Курдюмов, «только определенные наборы форм осуществимы в природных средах» [5, с. 2].

Существование регионального геотермального поля, переменного во времени и пространстве, общепризнанно и возражений не вызывает. Но для формирования вулканов и крупных месторождений необходим интенсивный локальный, периодически действующий поток энергии. Следовательно, энергия, поступающая на площадь рудного узла, в определенных условиях должна, как показывает расположение месторождений и вулканов, концентрироваться в пределах узкого кольца. Именно в пределах такого кольца энергетически обеспечивается формирование крупных месторождений. Естественно, рудоотложение возможно только там, где существуют необходимые структурно-геохимические условия.

Примером интенсивного локального воздействия в пределах ограниченной площади могут служить месторождения Криворожского железорудного бассейна. Здесь на протяжении более 100 км отрабатывается 9 метаморфогенных и 10 метаморфизованных месторождений железа. Все метаморфогенные месторождения расположены не далее 2 км от окружности радиусом 51 км, описывающей положение Клинцовского, Юрьевского месторождений золота и Петровского, Варваринского – графита [2, рис. 23].

Руды метаморфогенных месторождений интенсивно дислоцированы, а метаморфизованных, расположенных на значительном расстоянии от окружности, подверглись лишь региональному метаморфизму.

Таким образом, для понимания природы геометрических закономерностей размещения месторождений необходимо выяснить условия возникновения локальных интенсивных потоков энергии, достаточных для формирования именно месторождений при наличии многих мелких рудных объектов.

С. П. Курдюмов отмечал роль синергетических процессов в концентрации энергии в теплопроводящих средах: «Существует класс температурных режимов, нарастающих с обострением, при которых тепло, поступающее в неподвижную теплопроводящую среду, локализуется в конечной области среды в течение конечного времени» [7, с. 17].

В реальных условиях геологические масштабы пространства и времени не позволяют наблюдать процесс непосредственно. Но геологическая среда обладает своего рода памятью, значит, следы процесса могут быть выявлены.

При этом следует иметь в виду, что формирование месторождений происходит в открытой системе и сопровождается рассеиванием энергии, т. е. рудогенерирующая система по существу является геологической диссипативной.

Структурная и вещественная неоднородность геологической среды в равной степени влияет на расположение мелких рудных объектов от проявлений минерализации и рудных тел до месторождений. Но на форму геометрических систем, описывающих структуры размером десятки и сотни километров, эти неоднородности практически не влияют, так как их размер существенно меньше. Таким образом, закономерно не положение отдельных месторождений, а строение структур, их контролирующих.

Волновая природа геологических диссипативных структур показана в статье О. В. Петрова и И. Б. Мовчан [10].

Открытая система, через которую осуществляется переток энергии, при определенных условиях должна пройти стадию самоорганизации, в нашем случае – самоорганизации движения рудных растворов.

Определенная регулярность в размещении месторождений, возможность описания их положения геометрическими системами позволяет предполагать, а в известной мере и обосновать значительную роль синергетических процессов в формировании крупных месторождений – процессов, обусловивших длительное функционирование геологических диссипативных систем глубинного энергомассопереноса.

Действительно, системы, определяющие положение крупных рудных месторождений, отвечают соответствующим требованиям: поддаются математическому описанию, входят в надсистемы и содержат подсистемы; в них осуществляются прямые и обратные связи, их эмерджентным свойством является равная удаленность месторождений от «особой точки» – центра системы.

Возникновение стационарных диссипативных структур носит пороговый характер. Они устойчивы к локальным возмущениям, т. е. структуры возникают в ответ на достаточно сильное возмущение и восстанавливают свою форму при ограниченном нарушении условий их существования во времени и пространстве. Стационарные диссипативные структуры формируются лишь при поступлении энергии на достаточной площади не менее некоторой критической – «площади активизации». При возникновении стационарных структур на расстояниях менее критического структура, первой перешедшая в режим с обострением, поглощает соседние.

Таким образом, из допущения самоорганизации движения рудных растворов следует, что рудообразование должно рассматриваться как процесс, единый для всей диссипативной структуры. При этом движение растворов как энергоносителей изменяется во времени. В соответствии с пороговым характером диссипативных структур лишь при достижении определенного уровня энергопоступления, хаотическое движение растворов сменяется упорядоченным в пространстве и устойчивым во времени, формирующим конвективные ячейки – геологические диссипативные структуры. До их стабилизации даже в благоприятных условиях образуются мелкие рудные объекты, положение ареалов которых соответствует структурному плану конкретных регионов [14].

Именно относительно длительное существование геологических диссипативных структур, устойчивых к локальным возмущениям, обеспечивает формирование наиболее крупных, часто полигенных месторождений.

В общем случае более интенсивный энергопоток на больших глубинах определяет меньшую площадь активизации. Вследствие этого месторождения, формирующихся в условиях более высокого давления и температуры, могут быть обобщены окружностями меньшего радиуса.

Действительно, положение месторождений Алтае-Саянской складчатой области описывается окружностями разного размера – от 25,6 км (контактово-метасоматические месторождения железа Горной Шории), через 51 км и 74 км (золоторудные месторождений средних глубин на севере Кузнецкого Алатау и полиметаллические Рудного Алтая) до 144 км (телетермальные месторождения ртути Горного Алтая) [4].

В условиях тектоносферы энергомассоперенос возможен лишь при наличии проницаемых структур. Его максимальная эффективность достигается при размере радиуса конвективной ячейки, равном глубине ее заложения. Следовательно, среди многих кольцевых и дуговых структур различного происхождения рудоносными могут быть только те, чьи размеры соответствуют параметрам формирующихся конвективных ячеек.

Таким образом, для реализации крупного месторождения необходимо совмещение проницаемой структуры и глубинного энергопотока, достаточного для функционирования геологической диссипативной системы.

Вторым условием формирования масштабного оруденения является длительность существования рудогенерирующей системы. Независимо от природы процесса, любая система может длительно существовать только в колебательном режиме. Возможность реализации такого режима обеспечивается изостатическим характером структур, в которых равны площади, ограниченные полуокружностями, диаметр которых совпадает с глубинным разломом.

Принятие изостатического характера рудоконтролирующих структур позволяет рассчитать расстояние между центрами биполярных структур [1].

Подводя итоги, необходимо отметить:

1. Геометрические системы, описывающие положение рудных месторождений, морфологически близки к рассмотренным волновым структурам, как природным, так и полученным экспериментально.

Атмосферные стоячие волны образуются на границе раздела океан – континент. По периметру сейши и одному из ее диаметров реализуется максимальный термобарический градиент. Если в геологических диссипативных структурах существуют аналогичные условия, то именно в них (по периметру и одному из диаметров) существуют наиболее благоприятные условия для рудоотложения, что и делает возможным описание положения рудных месторождений окружностями.

2. Изостатический характер структур обеспечивает их длительное существование в колебательном режиме и тем самым определяет возможность формирования крупного месторождения и отложение руд разного возраста в одних и тех же интервалах глубин.

3. Привлечение понятий синергетики для понимания природы геометрических закономерностей показывает, что они, по существу, являются энергетическими – отражают перераспределение и концентрацию глубинного тепла. Именно энергетическая природа геометрических закономерностей делает их универсальными и позволяет использо-

вать при прогнозных работах на месторождения разного состава, возраста и генезиса.

4. Перераспределение и концентрация энергии в ограниченном пространстве может сопровождаться не только повышением температуры и движением растворов, но и образованием рассланцевания и трещиноватости в результате гидроразрыва. Так, все железорудные месторождения Криворожского бассейна, через которые проходит окружность, описывающая положение золоторудных и графитовых месторождений, отнесены к метаморфогенным. Руды этих месторождений интенсивно дислоцированы с существенным перераспределением рудного вещества. Месторождения, расположенные севернее, описываются как метаморфизованные, т. е. осадочные, подвергшиеся лишь региональному метаморфизму [2, с. 38, рис. 23].

Но энергетический процесс не связан (во всяком случае так представляется в настоящее время) с составом рудных растворов. Именно это делает геометрические закономерности универсальными, но и ограничивает возможность их применения вне традиционно выделяемых площадей.

Такой подход ставит больше вопросов, чем дает ответов, хотя и позволяет надеяться на принципиально новые решения [13].

Назовем лишь одну из проблем, имеющую принципиальное значение.

В какой мере случайно положение рудных объектов разного состава в криптоморфных структурах?

В пределах Алтае-Саянской складчатой системы на расстоянии 100–104 км к востоку-северо-востоку от центров окружностей, описывающих положение железорудных и полиметаллических месторождений Восточного Саяна, Горной Шории и Рудного Алтая, находятся все открытые титаномагнетитовые месторождения (Кедранское, Лысановское, Патынское и Харловское).

Практически все полиметаллические месторождения располагаются на юго-западе, а железорудные – на северо-востоке структур.

Месторождения ртути Никитовское на Украине и Акташское в Горном Алтае расположены на расстоянии 400–420 км от центров окружностей радиусом 205 км, описывающих положение золоторудных месторождений.

Месторождения самородной меди Горной Шории и халькопирит-сидеритовые месторождения Балкан расположены на северо-востоке узких полуколец (средний радиус 142 км, ширина 4 км), ограничивающих ртутные объекты Курайской (Горный Алтай) и Апусенской (Карпато-Балканская область) рудных зон.

Аналогичная форма геометрических систем, описывающих структуры Хладни, положение вулканов, атмосферные процессы и расположение месторождений определяются общим физическим процессом, ответственным за их формирование. Это перераспределение и концентрация энергии с образованием стоячих волн.

Возможно, что рудные месторождения являются элементами единой длительно живущей энергетической системы, лишь частично отражающими ее строение. Значительные размеры таких систем, элементы которых существуют в различных условиях температур и давлений, допускают наличие месторождений, для которых при низкой температуре и давлении относительно велика площадь активизации. Для таких «предынтрузивных» месторождений вследствие больших размеров должны быть характерны ограниченные потери рудного вещества при формировании и, соответственно, значительные его запасы при низких содержаниях.

Геометрические закономерности размещения рудных месторождений призваны «стереть случайные черты» и тем самым в металлогении повторить путь кристаллографии – от частных наблюдений к характерным формам и пониманию причин их формирования.

В заключение представляется оправданным привести слова, сказанные более 30 лет тому назад: «Сейчас установлено, что скрытые структуры для металлогенического анализа имеют большее значение, чем визуально наблюдаемые. Роль математики в геологии должна неизбежно повышаться, и наступит такой момент, когда без математического аппарата нельзя будет ни открывать новых явлений, ни изложить материал, касающийся их особенностей» [9, с. 221].

Выводы

1. Проблема крупных месторождений является прежде всего проблемой перераспределения и концентрации энергии в процессе рудообразования.

2. Понимание условий энергообеспечения рудного процесса позволяет конкретизировать традиционно выделенные перспективные площади на открытие крупных месторождений; вне этих энергетически обеспеченных площадей (узких колец и одного из диаметров геометризирующей окружности) образование крупных месторождений представляется маловероятным.

3. Необходим анализ глубинного строения криптоморфных рудовмещающих структур, выявление особенностей их геологического строения и непосредственно наблюдаемых признаков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дьяченко Г. И.** Биполярные рудоконтролирующие структуры // Региональная геология и металлогения. – 2007. – № 30–31. – С. 119–121.

2. **Дьяченко Г. И.** Геометрические закономерности размещения рудных месторождений. – Киев: Логос, 2011. – 90 с.

3. **Дьяченко Г. И.** Геометрические закономерности размещения урановых месторождений // Материалы по геологии урановых место-

рождений: инф. сб. Вып. 121. – М.: ВИМС, 1989. – С. 60–67.

4. **Дьяченко Г. И.** Геометрия рудных месторождений Алтае-Саянской складчатой системы // Геология и минерагения Сибири: сб. науч. тр. / под ред. А. И. Черных, Р. С. Родина. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2010. – С. 161–167.

5. **Князева Е. Н. Курдюмов С. П.** Жизнь неживого с точки зрения синергетики // Матер. XIII Пленума Геоморфологической комиссии РАН. – Томск, 2003. – С. 15.

6. **Космогеология** СССР / Н. С. Афанасьева, В. И. Башилов, В. А. Брюханов и др. – М.: Недра, 1987. – 240 с.

7. **Курдюмов С. П.** Локализация диффузионных процессов и возникновение структур при развитии в диссипативной среде режимов с обострением. – М., 1979. – С. 17–18

8. **Милановский Е. Е.** Рифтовые зоны континентов. – М.: Недра, 1976. – 279 с.

9. **Миронов Ю. П.** Теоретико-множественные модели гранитоидов. – М.: Наука, 1975. – 228 с.

10. **Петров О. В., Мовчан И. Б.** Диссипативные структуры Земли и их волновая природа // Региональная геология и металлогения. – 2009. – № 39. – С. 119–121.

11. **Соловьев В. В.** Структуры центрального типа СССР по данным геолого-морфоструктурного анализа: объяснительная записка к Карте морфоструктур центрального типа территории СССР масштаба 1:1 000 000. – Л., 1979. – 111 с.

12. **Шулейкин В. В.** Крупномасштабное взаимодействие океана и атмосферы. Избранные труды. Т. 1. – М.: Наука, 1986. – 360 с.

13. **Diachenko G.** The autowave mechanism of Australia coastline formation // British Journal of Science, Education and Culture. – 2014. – Vol. 4, no. 1 (5). – P. 732–736.

14. **Fusan O., Kodum O., Urbanek L.** Geologická mapa ČSSR. Meritko 1:500 000. – Praha: UUG, 1967.

REFERENCES

1. Dyachenko G.I. [Bipolar ore-controlling structures]. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya – Regional geology and metallogeny*, 2007, no. 30–31, pp. 119–121. (In Russ.).

2. Dyachenko G.I. *Geometricheskie zakonomernosti razmeshcheniya rudnyh mestorozhdeniy* [Geometric regularities of the distribution of ore deposits]. Kiev, Logos Publ., 2011. 90 p. (In Russ.).

3. Dyachenko G.I. [Geometric regularities of distribution of uranium deposits]. *Materialy po geologii uranovyh mestorozhdenij* [Materials on the geology of uranium deposits: inf. digest. Vol. 121]. Moscow, VIMS Publ., 1989, pp. 60–67. (In Russ.).

4. Dyachenko G.I. [Geometry of ore deposits of the Altai-Sayan folded system]. *Geologiya i minerageniya Sibiri* [Geology and Mineragenу of Siberia]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2010, pp. 161–167. (In Russ.).

5. Knyazeva E.N., Kurdyumov S.P. [Life of the non-living from the point of view of synergetics]. *Mater. XIII Plenuma geomorfologicheskoy komissii RAN* [Materials XIII Plenum of the Geomorphological Commission of the RAS]. Tomsk, 2003, p. 15. (In Russ.).

6. Afanasyev N.S., Bashilov V.I., Bryukhanov V.A., et al. *Kosmogeologiya SSSR* [Cosmogeology of the USSR]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 240 p. (In Russ.).

7. Kurdyumov S.P. *Lokalizaciya diffuzionnyh processov i vozniknovenie struktur pri razvitii v dissipativnoy srede rezhimov s obostreniem.* [Localization of diffusion processes and the appearance of structures during the development of peak regimes in a dissipative medium]. Moscow, 1979, pp. 17–18. (In Russ.).

8. Milanovskiy E.E. *Riftovyye zony kontinentov* [Rift zones of the continents]. Moscow, Nedra Publ., 1976. 279 p. (In Russ.).

9. Mironov Yu.P. *Teoretiko-mnozhestvennye modeli granitoidov* [Set-theoretic models of granitoids]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 228 p. (In Russ.).

10. Petrov O.V., Movchan I.B. [Dissipative structures of the Earth and their wave nature]. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya – Regional geology and metallogeny*, 2009, no. 39, pp. 119–121. (In Russ.).

11. Solovyev V.V *Struktury centralnogo tipa SSSR po dannym geologo-morfostrukturnogo analiza. Ob”yasnitelnaya zapiska k Karte morfostruktur centralnogo tipa territorii SSSR masshtaba 1:1000 000* [Structures of the central type of the USSR according to the data of geological and morphostructural analysis. Explanatory note to the Map of morphostructures of the central type of the territory of the USSR on a scale of 1: 1000 000]. Leningrad, 1979. 111 p. (In Russ.).

12. Shuleykin V.V. *Krupnomasshtabnoe vzaimodejstvie okeana i atmosfery: izbrannye trudy.* [Large-scale interaction of the ocean and the atmosphere: selected works. Vol. 1]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 360 p. (In Russ.).

13. Diachenko G. The autowave mechanism of Australia coastline formation. *British Journal of Science, Education and Culture*, 2014, vol. 4, no. 1 (5), pp. 732–736.

14. Fusan O., Kodum O., Urbanek L. Geologická mapa ČSSR. Meritko 1:500 000. Praha, UUG Publ., 1967.

УДК (553.3/.4:553.2):550.42(571.151)

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО КАРАКОЛЬСКОЙ УРАН-РЕДКОМЕТАЛЛЬНОЙ МАГМО-РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ГОРНОГО АЛТАЯ

А. И. Гусев

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

Приведены дополнительные новые данные о строении и составе магматических, рудных образований и об околорудных метасоматических изменениях комплексного Каракольского месторождения Горного Алтая. Одноименный шток гранитоидов имеет зональное строение, сложен двуслюдяными гранитами с преобладанием биотита, двуслюдяными лейкогранитами с преобладанием мусковита, мусковитовыми лейкогранитами, мелкозернистыми двуслюдяными лейкогранит-порфирами и дайками аплитов, аляскитов. Породы штока являются результатом смешения различных по составу расплавов: известково-щелочного низкоалюминиевого и высокоалюминиевого адакитового с различной степенью частичного плавления гранатового амфиболита. В породах выражен тетрадный эффект фракционирования редкоземельных элементов М-типа, с увеличением которого повышаются концентрации бериллия, что обусловлено переносом металла комплексными соединениями фтора в магматогенных флюидах. Приведенные данные позволяют выделить шток в самостоятельный каракольский гранит-лейкогранитовый комплекс раннетриасового возраста. Оруденение представлено грейзеново-молибденитовым минеральным типом с бериллом, молибденитом, халькопиритом, пиритом, висмутином. Обнаружена тантал-ниобиевая минерализация. Поздний тип оруденения представлен жилами карбонатов с торбернитом, метаторбернитом и отенитом.

Ключевые слова*: граниты, лейкограниты, аплиты, шток, дайки, тетрадный эффект фракционирования РЗЭ М-типа, жилы, грейзены, бериллий, молибден, медь, висмут, тантал, ниобий, уран.*

NEW DATA ON THE KARAKOLSKAYA URANIUM-RARE METALLIC MAGMA-ORE-METASOMATIC SYSTEM OF THE GORNY ALTAI

A. I. Gusev

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

New data about geological structure and composition of magmatic, ore formations and wallrock metasomatic alterations of the complex Karakolskoe deposit of the Gorny Altai. The same-name stock has zonal structure and it is composed of two binary granites with predominance of biotite, two-micas leucogranites with predominant muscovite, muscovite leucogranites, fine-grained two-micas leucogranite-porphyres and dikes of aplites and alaskites. Stock rocks are due to the mixture of meltings various in composition: calc-alkalic low-aluminum one and high-aluminum adakitic one with different degrees of partial melting of garnetiferous amphibolite. The tetradic effect of the REE M-type fractionation manifests in rocks. Beryllium concentrations in rocks rise with an increase in value of tetradic effect of the REE M-type fractionation that is because of transfer of metal by complex compounds of fluorine in magmagene fluids. The data presented make it possible to single out the stock in the independent Karakolskiy granite-leucogranite complex of the Early Triassic. The ore mineralization is represented by a greisen-molybdenite mineral type with beryl, molybdenite, chalcopyrite, pyrite, bismuthine. The tantalum-niobium mineralization is discovered at first. The late type of ore mineralization is represented by lodes of carbonates with torbernite, metatorbernite and autunite.

Keywords: *granites, leucogranites, aplites, stock, dikes, tetradic effect of fractionation of REE M-type, lodes, greisens, beryllium, molybdenium, copper, bismuth, tantalium, niobium, uranium.*

DOI 10.20403/2078-0575-2020-1-70-80

В Горном Алтае имеется ряд перспективных месторождений различных металлов, которые изучались еще в середине прошлого века. К их числу можно отнести комплексное уран-редкометалльное Каракольское месторождение. Необычность состава его руд и долгое время, прошедшее после его изучения, послужили причиной для ревизионных работ на нем путем использования современных лабораторных исследований руд и магматических образований. Автором в 2015–2018 гг. на месторождении проведены полевые работы и лабораторные исследования магматитов и руд, результаты которого и стали предметом данной статьи.

Актуальность исследований не вызывает сомнений, так как Каракольское месторождение входит в перечень месторождений, учтенных Государственным балансом России по бериллию (один из 11 объектов в России) [8]. Кроме того, это единственное месторождение на Алтае, в рудах которого присутствует одновременно урановое и редкометалльное оруденение.

Цель исследования – провести полевые ревизионные работы, специализированное металлогеническое изучение и анализ современными прецизионными лабораторными методами магматических пород, руд и минералов для получения новых данных по вещественному составу руд и переоценке месторождения.

Известно, что бериллиевое и молибденовое грейзеновое оруденение связано с гранитоидным магматизмом [1, 6–10, 12], который обладает специфическими особенностями. Такие месторождения относятся к группе интрузивно-связанных.

Магматизм месторождения

Каракольское месторождение находится на водоразделе рек Усть-Куча, Колбала и Солоновка. Оно было открыто и впервые изучено В. А. Кузнецовым [6], впоследствии изучалось А. Г. Бетехтиным [1]; А. И. Александровым (1947); В. А. Золотаревым; Я. А. Косалсом, а также В. И. Сотниковым, Е. И. Никитиной (1971).

Приурочено месторождение к одноименному интрузивному массиву площадью около 36 км^2. В его составе определены двуслюдяные порфировидные граниты главной фазы, а также лейкогранит-порфиры биотитовые, мелкозернистые двуслюдяные лейкогранит-порфиры, жилы аплитов и редко аляскитов.

Массив имеет зональное строение. Известно, что характер зональности интрузивов интерпретируется как результат химической дифференциации и скорости поступления последовательных фаз из глубинного магматического очага. В случае быстрого поступления фаз и отдельных пульсаций предыдущие ингредиенты не успевали закристаллизоваться, и более поздние фазы легко их прорывали и располагались в центре плутонов с формированием нормальной зональности по [26]. Такому сценарию отвечает формирование интрузивных фаз Каракольского штока (рис. 1).

Двуслюдяные порфировидные граниты главной фазы имеют порфировидный облик, они серые с розоватым оттенком. Структура породы порфиро-

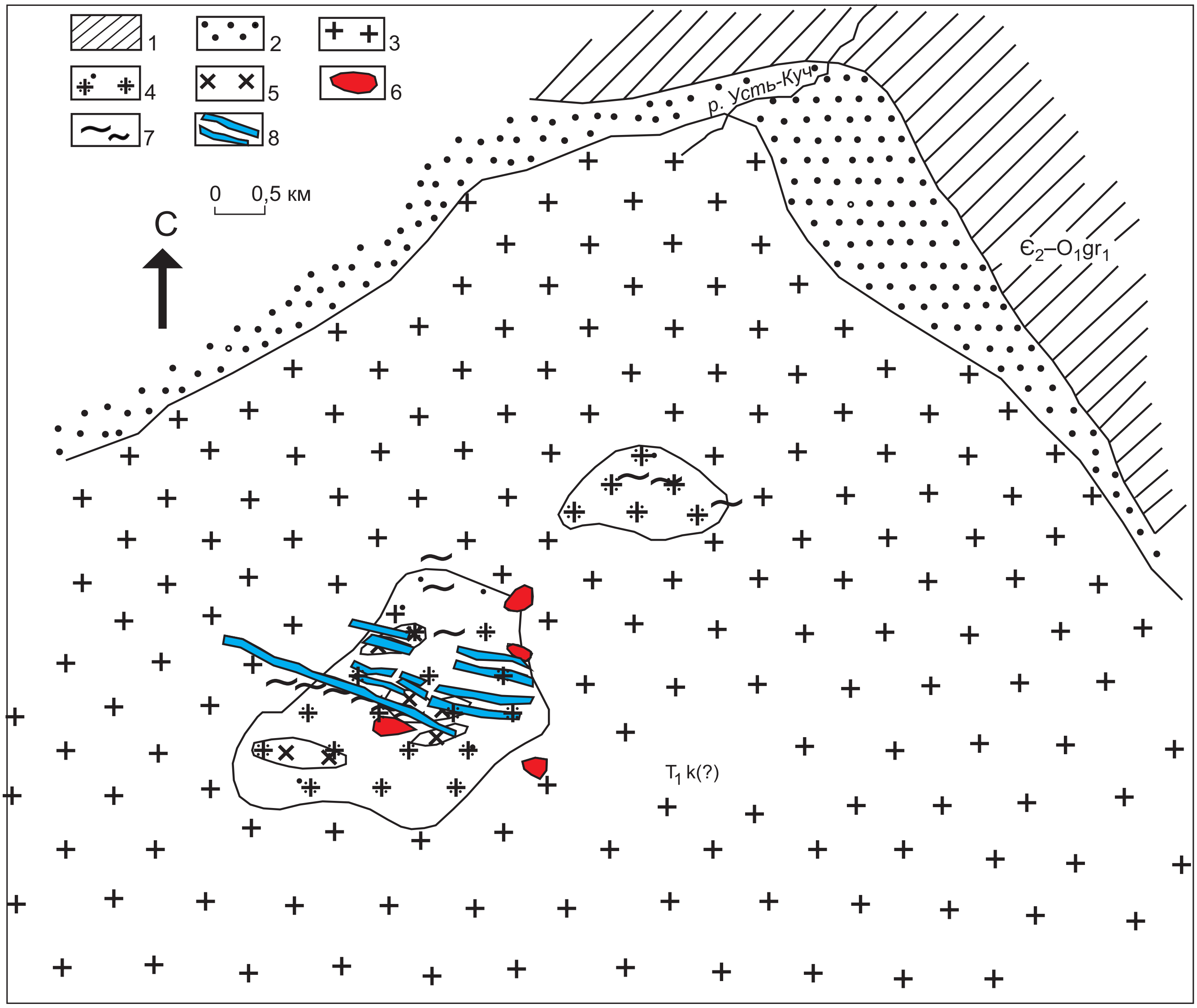


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Каракольского месторождения (по данным ГРП с добавлениями автора)

1 – песчаники, алевролиты и аргиллиты горноалтайской серии; 2 – роговики; гранитоиды Каракольского штока: 3 – двуслюдяные порфировидные граниты главной фазы с преобладанием биотита; 2-я фаза: 4 – двуслюдяные лейкограниты с преобладанием биотита, 5 – мелкозернистые мусковитовые лейкограниты, 6 – мелкозернистые двуслюдяные лейкогранит-порфиры, 7 – дайки аплитов и аляскитов, 8 – кварцевые жилы, сопровождаемые грейзенами

Таблица 1

Химический состав гранитоидов Каракольского массива (оксиды в мас. %, элементы в г/т)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO_2	71,31	73	72,7	72,5	73,6	74,2	73,7	74,8	75,8	76,2
TiO_2	0,24	0,25	0,17	0,19	0,11	0,09	0,12	0,093	0,042	0,03
Al_20_3	14,49	14,1	14,6	14,53	14,7	14,6	14,4	13,7	13,7	13,64
Fe_2O_3	0,9	0,68	0,15	0,21	0,27	0,25	0,41	0,75	0,22	0,3
FeO	1,42	1,02	1,31	1,26	0,73	0,8	0,73	0,12	0,36	0,35
MnO	0,1	0,073	0,072	0,06	0,045	0,04	0,06	0,077	0,22	0,1
MgO	0,62	0,51	0,46	0,45	0,23	0,25	0,32	0,22	<0,1	0,12
CaO	1,35	1,31	1,36	1,34	0,96	0,92	1,15	1,1	0,71	0,68
Na_2O	4,04	3,02	3,57	3,8	3,8	3,76	3,77	3,72	4,48	4,42
$К_2O$	3,94	4,71	4,07	4,1	4,07	4,12	3,85	4,13	3,54	3,62
P_2O_5	0,24	0,2	0,24	0,28	0,26	0,27	0,25	0,22	0,095	0,08
Be	6,4	5,76	12,11	10,6	8,25	9,4	9,83	4,72	4,98	4,76
Sc	5,34	5,66	4,57	4,1	2,3	2,1	2,72	2,47	4,3	4,2
V	22,3	24	17,8	18,3	7,65	6,3	7,45	7,68	2,75	2,8
Cr	45,7	44,8	36,1	38,2	35,3	32,5	22,6	26,3	27,4	26,5
Co	4,2	3,52	2,99	3,03	1,09	0,97	1,39	1,09	<0,5	1,3
Ni	4,87	4,65	3,49	3,21	1,5	1,1	1,65	1,56	<1,0	1,2
Ga	20,5	19,8	17	18,4	19	18,6	17,9	20,6	21,6	23,1
Rb	304	297	294	303	309	312	249	396	374	382
Sr	95,7	87,9	93	87,5	80,3	78,4	105	85,3	2,44	5,3
Y	26,4	25,1	12,6	12,4	6,95	7,1	5,49	7,04	18	16,8
Zr	132	122	82,6	81,5	61	64,5	64,2	48,8	34,7	36,3
Nb	24,3	23,2	18,2	19,3	22	23,7	16,3	25,3	30,6	29,5
Cs	25,1	24,9	19,9	20,5	33,4	34,1	35,1	26,7	16,1	15,3
Ba	225	232	299	302	240	255	340	80,5	5,55	6,3
La	31,3	28,5	18,5	20,4	12,4	13,2	14,5	9,69	3,98	4,6
Ce	65,2	62,9	37,4	37,3	25,7	25,3	29,4	20,1	10,4	8,2
Pr	7,5	7,09	4,35	4,28	2,99	3,01	3,36	2,46	1,61	1,63
Nd	28,3	26	15,3	16,3	10,6	10,4	11,7	8,17	5,58	5,6
Sm	5,7	5,49	3,49	3,5	2,43	2,41	2,77	1,79	2,02	2,4
Eu	0,57	0,66	0,59	0,45	0,43	0,42	0,63	0,28	0,052	0,07
Gd	5,1	4,65	3,33	3,45	2,01	2,12	2,27	1,63	1,76	1,85
Tb	0,7	0,66	0,46	0,52	0,35	0,39	0,34	0,26	0,39	0,42
Dy	4,2	4,02	2,51	2,61	1,41	1,47	1,06	1,51	2,54	2,6
Ho	0,83	0,8	0,43	0,52	0,26	0,3	0,16	0,33	0,48	0,52
Er	2,54	2,59	1,04	1,13	0,62	0,7	0,39	0,85	1,49	1,55
Tm	0,42	0,39	0,14	0,32	0,089	0,1	0,039	0,14	0,4	0,47
Yb	2,94	2,87	1	1,6	0,62	0,84	0,39	1,08	3,6	4,0
Lu	0,51	0,44	0,12	0,34	0,085	0,1	0,054	0,18	0,56	0,54
Hf	3,94	3,83	2,79	2,93	2,08	2,6	2,1	1,92	3,17	3,3
Ta	3,55	3,42	3,73	3,62	4,81	4,91	3,98	6,38	4,35	4,4
W	2,76	2,8	2,65	2,72	3,83	3,95	2,77	5,16	3,51	3,7
Mo	4,98	4,44	2,74	2,95	3,71	3,84	2,18	1,99	1,91	2,3
Th	21,6	22	8,78	9,2	6,07	6,5	5,99	6,62	5,24	5,8
U	4,52	4,31	12	11,4	8,74	8,62	5,21	22,5	4,08	4,3
Cu	34,7	30,7	18,7	19,3	109	115	111	24,3	3,71	9,8
Pb	25,8	32,6	35,8	36,2	31,1	32,5	4,1	19,4	16,6	15,7
Zn	55,1	52,4	45,3	43,7	50,5	51,6	54,7	50,7	9,89	12,4
Sb	1,5	1,33	0,41	0,7	0,82	0,93	0,33	0,23	0,14	0,32
Sn	3,65	3,35	5,11	5,3	3,47	3,51	3,66	1,89	2,37	2,5
Li	162	153	259	267	218	223	229	162	60,8	55,7

Окончание табл. 1

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ag	0,073	0,066	0,093	0,084	0,12	0,1	0,12	0,053	0,052	0,04
Bi	0,52	0,46	0,85	0,74	1,01	0,83	0,41	0,26	0,2	0,27
∑REE	182,2	172,2	101,3	105,1	66,94	67,86	72,55	57,51	52,86	51,25
$(La/Yb)_N$	7,05	6,56	12,2	8,4	13,2	10,4	24,6	5,93	0,73	0,37
Eu/Eu*	0,32	0,39	0,08	0,098	0,58	0,56	0,76	0,5	0,53	0,39
$TE_{1,3}$	0,98	1,01	1,21	1,11	1,07	1,04	1,08	1,02	1,03	0,97
Sr/Y	3,6	3,5	7,4	7,0	11,5	11,04	19,1	12,1	0,13	0,31

Примечания. Анализы выполнены методами эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой ICP-MS и ISP-AES на спектрометре «OPTIMA-4300 в лабораториях ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) и ИМГРЭ (Москва). Нормализация относительно хондрита проведена по [13]. $TE_{1,3}$ – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ (среднее между первой и третьей тетрадами) по В. Ирберу [18]; Eu* = $(Sm_N+Gd_N)/2$; породы: 1, 2 – двуслюдяные порфировидные граниты главной фазы; 2, 3 – жилы аплитов; 5–8 – лейкогранит-порфиры биотитовые; 9, 10 – мелкозернистые двуслюдяные лейкогранит-порфиры.

вая, основной ткани породы – гипидиоморфно-зернистая. Порфировые вкрапленники представлены плагиоклазом, реже калиевым полевым шпатом. Основная ткань породы сложена кварцем, плагиоклазом 2-й генерации, калиевым полевым шпатом, биотитом, мусковитом, редко роговой обманкой, эпидотом. Плагиоклаз вкрапленников (1-й генерации) зонален, образует призматические выделения размерами от 0,3×0,9 до 0,5×1,5 см. В ядре определяется андезин № 42–46, а по периферии – альбит № 8–9 в виде светлой каемки до 0,05 мм шириной. Плагиоклаз 2-й генерации коротко-призматический, или таблитчатый, относится к олигоклаз-андезину № 27–32. Амфибол определен как обыкновенная роговая обманка, которая часто замещается эпидотом и хлоритом.

Из акцессориев в гранит-порфирах присутствуют (г/т): магнетит 50–400, сфен 20–500, циркон 20–400, апатит 14–360. В единичных знаках отмечены ильменит, монацит, ортит, флюорит, турмалин, самородные висмут и свинец. Резкое преобладание магнетита над ильменитом позволяет относить гранитоиды массива к магнетитовому (окисленному) типу по [19].

Мелкозернистые лейкогранит-порфиры – розовато-серые и светло-серые двуслюдяные массивные, местами неравномерно-зернистые породы. Состав (%): калиевый полевой шпат 25–40, кварц 30–36, альбит-олигоклаз 30–33, роговая обманка 2–3, биотит 1–3, мусковит 1–3. Редко присутствуют микрографические сростки кварца и калишпата размером до 2 мм. Изредка в калиевом полевом шпате проявлена «микроклиновая решетка». Биотит по химическому составу относится к ряду истонит – сидерофиллит. Акцессорные минералы – апатит, магнетит, ортит, циркон, редко сфен, монацит, турмалин, пирит, халькопирит, молибденит. Наиболее тесная пространственная связь грейзенового оруденения отмечается именно с этими двуслюдяными мелкозернистыми лейкогранит-порфирами.

Жилы аплитов маломощные (3–8 см) и непротяженные (10–18 м). Аплиты – светло-серые породы, иногда с желтоватым оттенком. Структура аплитовая, местами гипидиоморфно-зернистая. Состав (%): микроклин 28–41, кварц 33–38, альбит 31–35, мусковит 1–2. Акцессории – циркон, апатит, турмалин, халькопирит, пирит.

Скопление жил аплитов характерно в районе жил Каракольского месторождения и в гранитоидах главной фазы.

Возраст гранитоидов Каракольского массива U-Pb методом по циркону составляет 244±2 млн лет. Это отвечает раннему триасу. Ранее Каракольский массив относили к белокурихинскому комплексу (P_2–T_1). Данные химического состава пород приведены в табл. 1.

В целом все породные типы Каракольского массива относятся к известково-щелочной серии с почти равными концентрациями Na_2O и K_2O. От ранних фаз к поздним снижается сумма РЗЭ от 182,2 до 51,25 г/т. Соотношения $(La/Yb)_N$ колеблются от 0,37 до 24,6; наиболее низкие свойственны двуслюдяным мелкозернистым лейкогранит-порфирам. Для даек аплитов характерно проявление ТЭФ РЗЭ М-типа (пограничное значение более 1,1; в нашем случае вариации составляют 1,11–1,21) и значительная негативная аномалия по европию (0,08–0,098).

На диаграммах положение фигуративных точек составов пород однозначно указывает на пералюминиевый тип и незначительно меняющиеся соотношения магния и железа вблизи раздела железистой и магнезиальной серий (рис. 2).

В координатах нормированных отношений к хондриту $(La/Yb)_N$ и Yb_N составы породных типов резко отличаются, в основном за счет вариации концентраций Yb (рис. 3).

Двуслюдяные порфировидные граниты главной фазы и дайки аплитов попадают в область нормальных андезитов и низкоалюминиевой тоналит-трондьемит-дацитовой серии пород, а биотитовые лейкограниты и мелкозернистые двуслюдяные лейкограниты – в область адакитовой высокоалюминиевой тоналит-трондьемит-дацитовой серии с разной степенью плавления гранатового амфиболита:

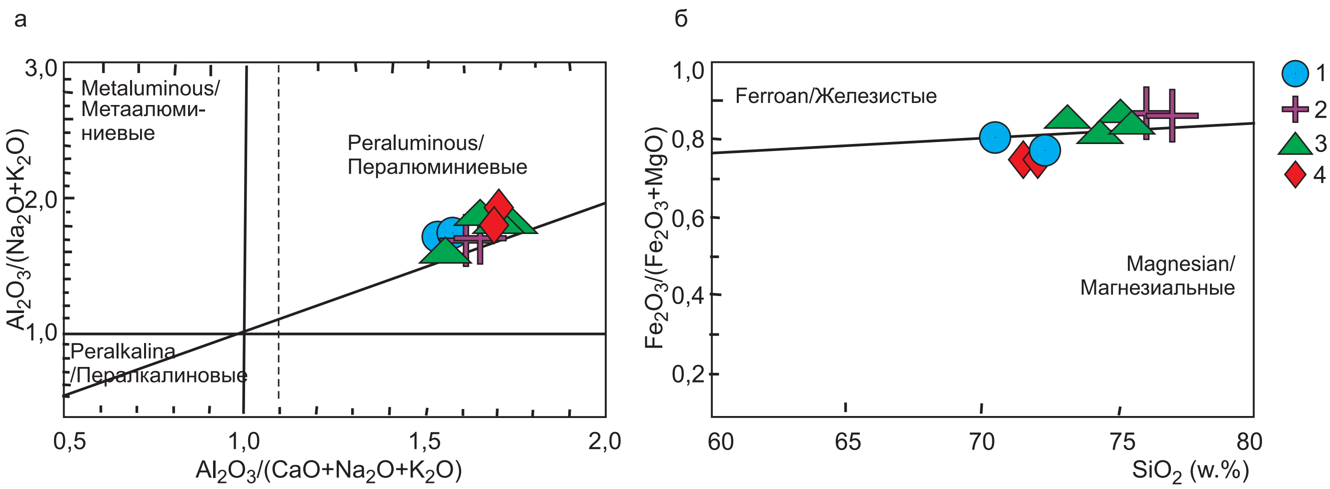


Рис. 2. Диаграммы $Al_2O_3/(Na_2O + K_2O)$ – $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ (а) по [22] и $Fe_2O_3/(Fe_2O_3 + MgO)$ – SiO_2 (б) по [27] для пород Каракольского массива

1 – гранит-порфиры главной фазы; 2 – жилы аплитов; 3 – лейкогранит-порфиры двуслюдяные; 4 – двуслюдяные гранит-порфиры

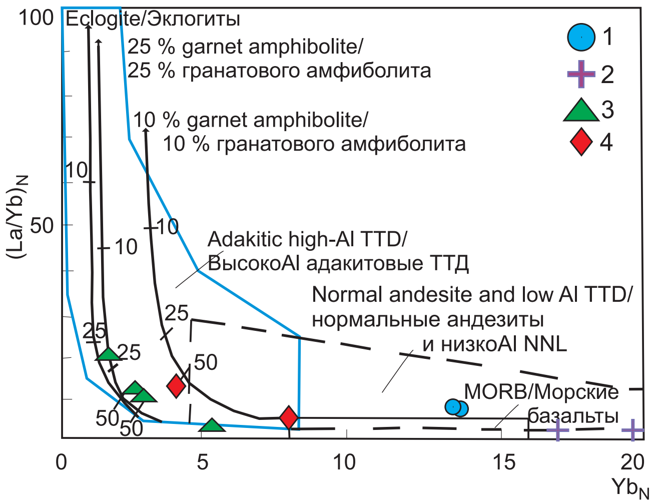


Рис. 3. Диаграмма $(La/Yb)_N$ – Yb_N по [16, 29] для гранитоидов Каракольского массива

Усл. обозн. см. на рис. 2

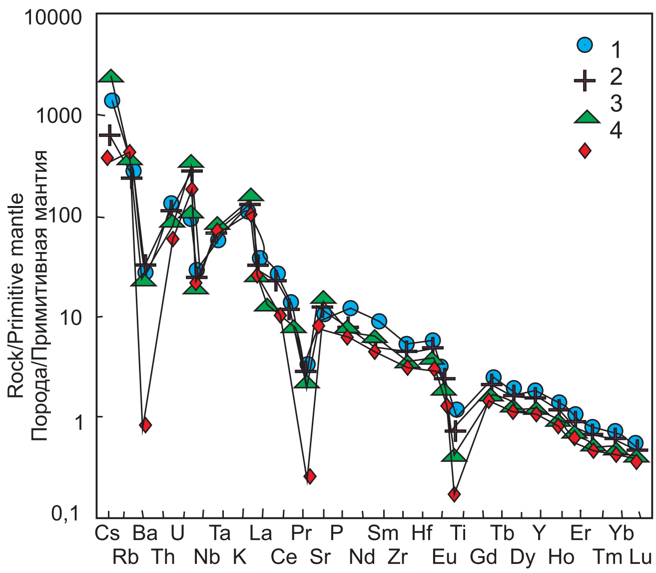


Рис. 4. Нормализованная по примитивной мантии по [24] спайдер диаграмма для химических элементов интрузивных пород Каракольского массива

Усл. обозн. см. на рис. 2

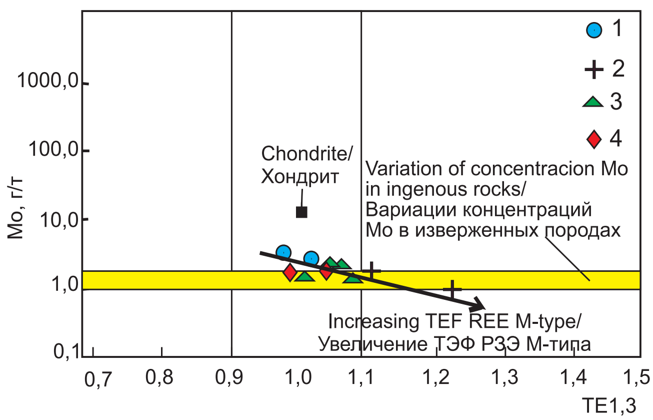


Рис. 5. Диаграмма Mo – $TE_{1,3}$ для магматических пород Каракольского штока. Среднее содержание молибдена в хондритах по [28]. Содержания молибдена в изверженных породах по [2]

1 – двуслюдяные порфировидные граниты главной фазы; 2 – жилы аплитов; 3 – двуслюдяные лейкогранит-порфиры 3-й фазы; 4 – двуслюдяные гранит-порфиры 2-й фазы

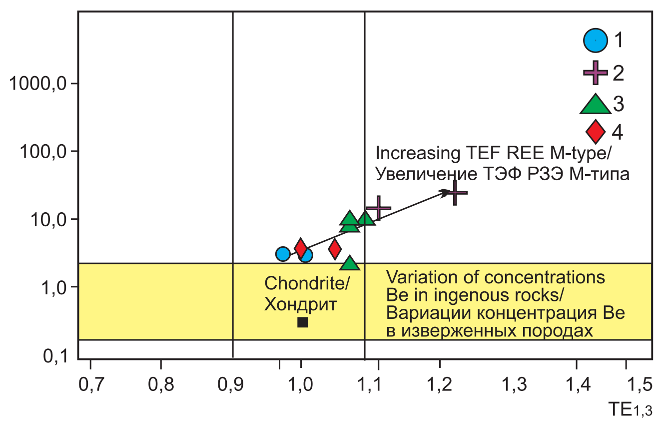


Рис. 6. Диаграмма Be – $TE_{1,3}$ для магматических пород Каракольского штока. Среднее содержание бериллия в хондритах по [28]. Содержания бериллия в изверженных породах по [2]

Усл. обозн. см. на рис. 5

первые – тяготеют к тренду плавления 25 % гранатового амфиболита, а вторые – 10 % гранатового амфиболита. Адакитовая близость лейкогранитов подтверждается и по низким концентрациям иттрия (менее 18 г/т) и иттербия (ниже 1,8 г/т), негативной европиевой аномалии (см. табл. 1). На спайдер-диаграмме наблюдается обогащение лейкогранитов крупноионными литофильными элементами (LILE) Cs, Rb, Th, U и деплетирование высокозарядными элементами (HFSE) Nb, Ta, Ti (рис. 4), что также определяет их сходство с адакитами [15]. Обращают на себя внимание повышенные отношения Sr/Y в лейкогранитах (11,04–19,1), что сближает их с породами, имеющими высокое значение Sr/Y [17].

В некоторых породных типах массива проявлен тетрадный эффект фракционирования (ТЭФ) РЗЭ М-типа, указывающий на значительную роль и активность фтора в магматогенных флюидах. На диаграмме, отражающей соотношение молибдена и значений ТЭФ, отчетливо видна обратная зависимость анализируемых ингредиентов: с увеличением значений ТЭФ РЗЭ М-типа уменьшаются концентрации Mo в породах (рис. 5).

Иная картина наблюдается для соотношений концентраций бериллия и $TE_{1,3}$ в породах Каракольского штока (рис. 6). Концентрации бериллия возрастают с увеличением значения ТЭФ РЗЭ М-типа. Это указывает на то, что перенос Be в пневматолит-гидротермальных флюидах осуществлялся с участием фтор-комплексов, так как проявление ТЭФ РЗЭ М-типа обусловлено активностью фтора во флюидах.

Орудение Каракольского месторождения

Каракольское месторождение представлено серией крутопадающих субширотных кварцевых жил протяженностью 0,3–1,5 км, мощностью от 10 см до 3 м.

Наблюдается тесная пространственная связь рудных жил с двуслюдяными лейкогранитами с преобладанием мусковита, мусковитовыми лейкогранитами и мелкозернистыми двуслюдяными лейкогранитами, которые являются заключительными фазами становления Каракольского штока. Реже кварцевые жилы встречаются в породах экзоконтакта. Рудные минералы в виде рассеянной вкрапленности среди серого и светло-серого крупнозернистого друзовидного кварца, молибденита, висмутина, пирита, халькопирита, берилла, акцессорных шеелита и других редких минералов тяготеют преимущественно к жилам эндоконтактовой зоны и сопровождающим их грейзенам. В самих грейзенах отмечаются также апатит, ортит, ксенотим, ферриколумбит и редко арсенопирит.

Кварцевые жилы сопровождаются зонами грейзенизации, наиболее отчетливо проявленными при локализации жил среди слабо измененных биотитовых гранитов. При этом внешняя метасоматическая зона в минералогическом (да и в геохимическом) отношении близка к участкам интенсивно мусковитизированных гранитов. Ширина грейзенизации варьирует от 0,5 до 6 м. Как околожильные грейзеновые образования, так и двуслюдяные гранит-порфиры несут редкую вкрапленность рудных минералов – пирита, молибденита, шеелита, еще реже – халькопирита.

Наиболее высокие содержания берилла присущи кварцевым жилам северо-западного простирания, которые приурочены к трещинам скола и сопровождаются процессом грейзенизации гранитов. Жилы сближены до интервала в 2–4 м, расположены кулисообразно; местами лестничные. Берилл развит в виде скоплений неправильной формы, друз и отдельных кристаллов. Различаются две его генерации. Ранняя образует крупные выделения с размерами кристаллов от 0,5 до 5 см голубовато-зеленоватой окраски (формы выделений коротко-призматические и таблитчатые), корродируется халькопиритом, пиритом. Вторая генерация представлена прозрачными светло-голубоватыми кристалликами правильной удлиненно-призматической формы размерами 0,5–15 мм. Иногда кристаллики берилла второй генерации слабо уплощены по {0001}. В комплексных рудах с бериллом ассоциируют молибденит, халькопирит, шеелит, висмутин, ковеллин, торбернит, метаторбернит, отенит, флюорит, турмалин [4]. Впервые в комплексных рудах выявлены редко встречающиеся петалит, ферриколумбит и танталит. Распределение бериллия, молибдена и висмута в таких рудах неравномерное.

Текстурно-структурные исследования в стенках штолен позволили установить, что урановое оруденение в прожилках кварца, кальцита, сидерита с торбернитом, метаторбернитом и отенитом в виде редкой вкрапленности наложено на грейзены и кварцевые жилы с бериллом, халькопиритом и молибденитом, т. е. образовалось позднее основной редкометалльной ассоциации. Местами с урановым оруденением ассоциируют хлорит и флюорит. Околорудные изменения представлены низкотемпературными ассоциациями карбонатов (кальцита, сидерита, анкерита), хлорита и серицита.

Средние содержания рудных компонентов (%) в комплексных рудах следующие: Be 0,5, Mo 0,3, Bi 0,12; суммарные запасы и прогнозные ресурсы (C_1+C_2+P_1): Be – несколько тысяч тонн, причем берилла рудоразборного (C_1+C_2) – 1942 т, Mo – 543,6 т, Bi – 141,2 т, U – 34,2 т. Прогнозные ресурсы категории P_1 не оценены. В сульфидных рудах с пиритом и халькопиритом содержатся Ag (35–100 г/т) и Au (0,4–1,8 г/т).

Местами встречаются линзы слюдитов среди грейзенов мощностью от 10 до 90 см и протяженностью до 3–16 м. В мусковитовых слюдитах с клевеландитом нами впервые обнаружена мелкая вкрапленность ферриколумбита размером 0,02–0,15 мм в ассоциации с шеелитом. По штуфным пробам со-

Таблица 2

Содержания элементов-примесей в мусковите грейзенов Каракольского месторождения (г/т)

Компонент	Номер пробы					
	1	2	3	4	5	6
V	66	57,9	58,9	66	62	59,7
Cr	9,7	9,61	10,1	9,8	9,7	8,6
Ga	93,8	88,1	95,7	189,1	203,2	205,6
Ge	1,24	1,29	1,87	1,29	1,49	1,54
Rb	1250	1320	1540	1258	1327	1336
Sr	9,25	5,7	5,1	9,22	5,5	6,4
Nb	200	192	214	208	212	221
Cs	154	190	194	148	176	183
Ba	167	102	187	156	132	146
Pb	24,7	16,9	15,7	22,9	23,9	24,6
Th	4,65	1,43	2,6	4,9	2,1	3,3
La	8,37	2,53	3,08	8,5	2,88	7,9
Ce	17,3	4,06	5,12	18,1	4,5	17,1
Pr	2,13	0,57	0,67	2,2	0,65	2,1
Nd	7,76	2,1	2,5	7,9	2,8	7,4
Sm	1,85	0,45	0,67	1,94	0,53	1,91
Eu	0,37	0,1	0,12	0,41	0,17	0,4
Gd	1,65	0,33	0,89	1,78	0,41	1,84
Tb	0,26	0,049	0,11	0,33	0,06	0,32
Dy	1,17	0,2	0,7	1,22	0,25	1,31
Ho	0,21	0,053	0,76	0,23	0,06	0,24
Er	0,61	0,14	0,45	0,7	0,21	0,68
Tm	0,086	0,019	0,14	0,092	0,02	0,11
Yb	0,6	0,13	0,55	0,66	0,22	0,62
Lu	0,099	0,025	0,087	0,11	0,03	0,12
Y	6,97	1,59	1,78	7,8	1,86	8,2
Zr	1,1	21,5	20,6	4,8	22,7	5,1
Sc	14,6	12,7	12,3	14,8	12,3	15,1
Hf	1,41	0,37	0,7	1,5	0,45	1,7
Ta	89,9	85,9	88,7	88,5	86,2	91,4
Tl	21,3	18,6	17,4	31,9	32,7	33,2
Mo	73,8	99,5	104	67,8	98,4	73,4
Sb	0,4	0,5	0,3	0,44	0,52	0,5
Sn	13,5	15,7	16,9	15,5	15,9	16,2
Be	15,6	13,2	14,8	11,8	13,7	12,6
W	26,5	49,4	45,8	22,8	45,7	34,2
U	13,5	7,3	8,4	14,2	7,4	15,8
Li	835	786	679	843	782	854
Ag	0,3	0,6	0,6	0,4	0,63	0,5
Bi	10,1	9,5	8,5	10,5	9,8	11,8
Ta/Nb	0,45	0,45	0,41	0,42	0,41	0,43
∑REE	49,44	12,35	17,63	51,97	14,65	50,25
$(La/Yb)_N$	9,2	12,74	3,7	8,51	8,62	8,42
Eu/Eu*	0,64	0,78	0,48	0,67	1,09	0,65
$TE_{1,3}$	1,05	0,87	0,88	1,09	0,85	1,08

Примечания. Анализы выполнены методами эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой ICP-MS и ISP-AES на спектрометре «OPTIMA-4300 в лабораториях ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) и ИМГРЭ (Москва). Нормализация относительно хондрита проведена по [13]. $TE_{1,3}$ – тетрадный эффект фракционирования РЗЭ (среднее между первой и третьей тетрадами) по В. Ирберу [17]; Eu* = $(Sm_N+Gd_N)/2$.

держания Nb в слюдитах варьируют от 0,1 до 0,3 %, тантала – от 0,1 до 0,15 %.

В связи с тесной ассоциацией проявления ферриколумбита и мусковита нами проанализирован состав элементов-примесей слюды из грейзенов (табл. 2).

Нормализация концентраций элементов относительно хондрита показала, что в большинстве случаев отношения Eu/Eu* в мусковите ниже хондритовых.

Концентрации некоторых элементов-примесей в мусковите из грейзенов (Nb, Ta, Ga и Cs) в отдельных пробах превышают ферсмы (средние содержания элементов в минерале) мусковита по [11].

Следует отметить проявление ТЭФ РЗЭ W-типа в мусковите грейзенов (пограничное значение менее 0,9), указывающее на то, что при кристаллизации мусковита значительную роль во флюидах играли такие летучие компоненты, как CO_2 и H_2O, обеспечивающие проявление ТЭФ РЗЭ W-типа.

На диаграмме соотношений Ta/Nb – Ta составы мусковита тяготеют к полю танталовых месторождений, гранитов и пегматитов (рис. 7), что указывает на перспективы обнаружения танталового оруденения в районе проявления Каракольского штока.

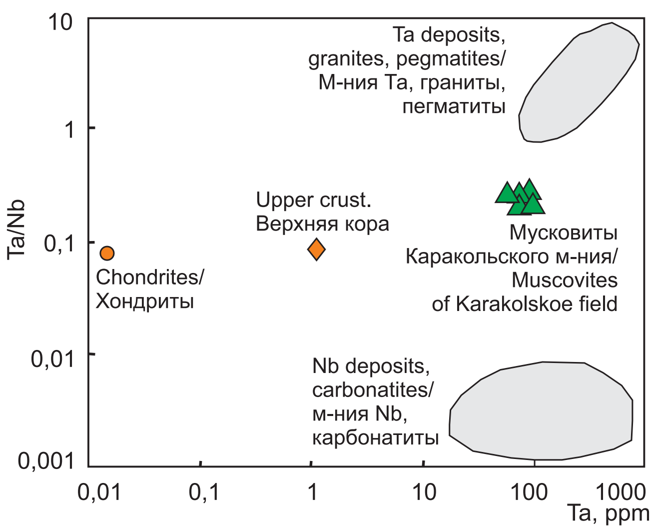


Рис. 7. Диаграмма содержаний Ta и отношений Ta/Nb по [25] для мусковитов Каракольского месторождения (среднее содержание в хондритах по [21], в верхней континентальной коре – по [14])

Концентрации элементов-примесей рудных минералов месторождения приведены в табл. 3.

Примечательно, что в минералах руд проявлены оба типа ТЭФ РЗЭ, что указывает на менявшийся режим насыщения и активности разных летучих компонентов во флюидах: F, CO_2, H_2O, HS^- и др.

Интерпретация результатов

Как уже отмечено, породы Каракольского массива несут в себе признаки различных глубинных магматических источников. Можно сделать вывод о процессах смешения различных родоначальных

Таблица 3

Содержания оксидов и химических элементов в минералах Каракольского месторождения (TiO_2 и MnO в %, остальные компоненты в г/т)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TiO_2	0,018	0,0043	0,026	0,027	0,0035	0,011	0,011	–	–	–
MnO	0,01	0,011	0,55	0,036	0,014	0,025	014	–	–	–
Be	4,26	8,99	30600	33100	2,82	21,5	2,67	33,1	9,6	12,8
V	2,5	2,5	17,6	14,0	2,61	4,02	4,32	3,55	32,1	30,5
Cr	1,0	7,82	11,4	11,8	9,6	4,5	9,97	4,2	9,7	3,8
Ga	1,08	1,36	12,7	14,6	1,089	3,4	2,09	11,7	6,6	12,4
Ge	1,07	3,17	0,46	0,49	0,18	0,15	0,14	3,9	2,8	5,7
Rb	2	2	37,3	53,4	15,8	63	32,1	45,2	8,9	9,6
Sr	1	1,54	17,6	7,36	1	1	4,2	22,1	58	6,3
Y	0,19	0,19	2,63	1,46	2,36	0,74	1,91	1,55	43,4	55,7
Zr	9,44	12,5	15,4	15,8	0,5	8,25	19,1	5,1	19,3	56,9
Nb	0,5	0,5	2,24	5,33	2,25	4,03	7,56	4,8	45,1	–
Mo	15,1	8,44	24,4	9,6	202100	124200	95500	40,4	45,8	22,6
Cs	0,1	0,26	518	793	1,31	4,33	2,27	122,5	18,4	15,3
Ba	4,58	9,43	130	31,2	5,63	11,4	26,8	28,3	30,6	5,8
La	0,18	0,15	4,05	4,96	0,85	0,33	1,3	0,47	7,9	4,2
Ce	0,76	0,47	14,1	8,47	0,01	0,45	4,48	0,89	17,0	16,2
Pr	0,033	0,031	0,87	0,77	0,98	0,68	0,87	0,094	3,8	3,8
Nd	0,2	0,13	3,46	2,53	1,85	0,83	1,69	0,33	9,5	11,1
Sm	0,026	0,031	0,64	0,43	0,24	0,099	0,36	0,24	7,0	4,8
Eu	0,005	0,005	0,18	0,087	0,31	0,22	0,24	0,015	0,33	0,006
Gd	0,032	0,025	0,67	0,31	0,22	0,092	0,21	0,077	8,3	5,8
Tb	0,008	0,01	0,12	0,049	0,038	0,019	0,044	0,024	0,7	2,6
Dy	0,051	0,035	0,61	0,29	0,24	0,095	0,23	0,099	3,5	16,1
Ho	0,0079	0,0063	0,13	0,039	0,054	0,027	0,052	0,03	0,9	4,7
Er	0,019	0,01	0,28	0,13	0,14	0,07	0,18	0,034	3,7	16,2
Tm	0,005	0,005	0,043	0,02	0,028	0,011	0,023	0,0095	0,4	2,3
Yb	0,022	0,022	0,31	0,14	0,13	0,062	0,13	0,069	4,9	14,6
Lu	0,005	0,005	0,065	0,021	0,024	0,0089	0,035	0,15	0,5	0,08
Hf	0,029	0,095	0,28	0,27	0,047	0,033	0,05	0,07	3,5	5,9
Ta	0,1	0,1	0,83	2,23	0,45	0,69	0,68	9,35	19,4	–
W	0,71	0,5	21,9	52,8	23,0	24,7	20,8	61,7	–	16,6
Th	0,1	0,1	0,99	2,38	0,1	0,15	0,22	0,19	11,1	5,9
U	6,73	3,73	1,13	3,15	762	80	4480	0,23	8,2	4,6
Li	–	–	–	–	–	–	–	27456	1,3	5,8
Sc	–	–	–	–	–	–	–	0,44	2,7	42,1
Sn	–	–	–	–	–	–	–	1,8	4,8	1328
Ag	–	–	–	–	–	–	–	0,4	0,3	0,5
Bi	–	–	–	–	–	–	–	2,5	3,1	4,7
∑REE	1,54	1,13	28,16	19,71	7,47	3,73	11,75	4,0	111,8	158,2
$(La/Yb)_N$	5,18	4,36	8,63	23,5	4,28	3,5	6,56	4.51	1,06	0,19
Eu/Eu*	0,54	0,54	0,84	0,7	4,08	6,9	2,48	0,27	0,13	0,003
$TE_{1,3}$	1,32	1,42	1,16	1,09	0,54	1,2	1,47	1,06	0,97	1,49

Примечания. 1, 2 – халькопирит; 3 – берилл 1-й генерации; 4 – берилл 2-й генерации; 5, 6 – молибденит 2-й генерации в кварцевых жилах; 7 – молибденит 1-й генерации в грейзенах; 8 – петалит; 9 – шеелит; 10 – ферриколумбит. Прочерк – анализы не проводились.

магм в глубинном очаге при формировании последовательных фаз Каракольского штока. Вероятно, это сыграло значительную роль и в металлогении рудогенерирующего магматического очага. Следует указать, что в переходной зоне от Бийско-Барнаульской впадины к складчатому сооружению Горного Алтая на раннемезозойском этапе прежде отмечалось совмещение шошонитовых и высококалиевых адакитовых гранитоидов в одних и тех же массивах в составе Айского ареала [3], совмещение двух типов источников расплавов: шошонитового и адакитоподобного при формировании массивов в Точильном ареале [3, 5]; последнее встречается и в зарубежных регионах [20, 23].

Приведенные материалы показывают значительные отличия пород штока от гранитов белокурихинского комплекса. Возможно, следует выделять самостоятельный каракольский гранит-лейкогранитовый комплекс раннетриасового возраста.

Очевидно, смешение различных магматических источников в глубинном магматическом очаге с последующей дифференциацией и привело к формированию комплексного оруденения месторождения, в рудах которого промышленное значение имеют бериллий, молибден, висмут, уран, а также тантал и ниобий. Молибден-бериллиевое оруденение грейзенового типа формировалось на первом этапе. С ним ассоциирует тантал-ниобиевая минерализация. Установлено, что урановое оруденение формировалось позже молибден-бериллиевого и приурочено к жильному типу, наложенному на грейзеновый.

Разнообразие типов оруденения связано с меняющимся флюидным составом на этапе пневматолито-гидротермального и позднего гидротермального этапов и различной активности таких летучих компонентов, как F, CO_2, H_2O, HS^- и др. Менявшийся состав флюидов и летучих компонентов в растворах обусловлен процессами смешения различных по составу магм в глубинном магматическом очаге. Последний эволюционировал сравнительно быстро, о чем свидетельствует прямая зональность в строении Каракольского штока.

Выводы

Каракольское месторождение имеет тесную связь с эволюцией глубинного магматического очага, сформировавшего одноименный шток, а также менявшиеся состав флюидов и летучих компонентов и состав околорудных изменений. Каракольский шток сформировался в результате смешения нормальных андезитов низкоалюминиевой тоналит-трондьемит-дацитовой серии пород и адакитовой высокоалюминиевой тоналит-трондьемит-дацитовой серии с разной степенью плавления гранатового амфиболита. Последующая дифференциация сложного расплава глубинного очага и последующее отделение магматических дифференциатов и флюидных потоков привели к формированию комплексного оруденения.

Промышленное значение на месторождении имеют бериллий, уран, молибден, висмут. Попутно могут извлекаться тантал, ниобий и, возможно, галлий и цезий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бетехтин А. Г.** Минералогия. – М., 1949. – 550 с.

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

3. **Гусев А. И.** Петрогенезис совмещенных шошонитовых и высоко-К адакитовых гранитоидов раннего мезозоя Горного Алтая // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2016. – С. 58–60.

4. **Гусев А. И., Козлова Т. Н.** Бериллиевое оруденение Алтая // Природные ресурсы Горного Алтая: геология, геофизика, экология, минеральные, водные и лесные ресурсы Алтая. – 2009. – № 1. – С. 21–35.

5. **Гусев А. И., Гусев Н. И., Табакаева Е. М.** Абсолютный возраст, петрология, геохимия и рудоносность Точильного штока Горного Алтая // Изв. ТПУ. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328, № 3. – С. 14–26.

6. **Кузнецов В. А.** Новые данные по геологии и металлогении Алтая // Вестн. ЗСГУ. – 1941. – № 1–2. – С. 5–63.

7. **Кузнецов В. А.** Тектоническое районирование и основные черты эндогенной металлогении Горного Алтая // Тр. ИГГ СО АН СССР. – 1963. – Вып. 13. – С. 5–28.

8. **Куприянова И. И., Шпанов Е. П., Ануфриева С. И.** Бериллиевые руды России: минерально-сырьевая база, технологические и экологические проблемы // Минеральное сырье. Сер. геолого-экономическая. – 2005. – № 18. – 68 с.

9. **Рудоносность** магматических ассоциаций / В. И. Коваленко, М. Г. Руб, М. А. Осипов и др. – М.: Недра, 1988. – 231 с.

10. **Сотников В. И., Никитина Е. И.** Молибдено-редкометалльно-вольфрамовая (грейзеновая) формация Горного Алтая. – Новосибирск: Наука, 1971. – 260 с.

11. **Средние** содержания элементов-примесей в минералах / В. В. Иванов, В. В. Белевитин, Л. Ф. Борисенко и др. – М.: Недра, 1973. – 208 с.

12. **Станкеев Е. А.** Генетическая минералогия. – М.: Недра, 1986. – 272 с.

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

14. **Barth M. G., McDonough W. F., Rudnick R. L.** Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust // Chem. Geol. – 2000. – Vol. 165. – P. 197–213.

15. **Defant M. J., Drummond M. S.** Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere // Nature. – 1990. – Vol. 347. – P. 662–665.

16. **Drummond M. S., Defant M. J.** A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons // J. Geophys. Res. – 1990. – Vol. 95. – P. 21503–21521.

17. **Genesis** of the high Sr/Y rocks in Qinling orogenic belt, central China / L. Ren, H. Liang, Z. Bao, et al. // Lithos. – 2018. – Vol. 314–315. – P. 337–349.

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

19. **Ishihara S.** The granitoid series and mineralization // Econ. Geol. – 1981. – 75th Anniversary Volume. – P. 458–484.

20. **Jeong-Im O., Sung H. C., Keewook Y.** Origin of adakite-like plutons in southern Korea // Lithos. – 2016. – Vol. 262. – P. 620–635.

21. **Jochum K., Stolz A., McOrist G.** Niobium and tantalum in the carbonaceous chondrites: constraints on the solar system and primitive mantle niobium/tantalum, zirconium/niobium and niobium/uranium ratios // Meteorit. Planet. Sci. – 2000. – Vol. 35. – P. 229–235.

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

23. **Partial** melting of subducted paleo-Pacific plate during the early Cretaceous: Constraint from adakitic rocks in the Shaxi porphyry Cu–Au deposit, Lower Yangtze River Belt / J. Deng, X. Yang, S. Li, et al. // Lithos. – 2016. – Vol. 262. – P. 651–667.

24. **Sun S. S., McDonough W. F.** Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processed // Magmatism in the oceanic basins (Eds. A.D.Saunders, M.J.Norry). – Geol. Soc. of London Special Publication. – 1989. – No. 42. – P. 313–345.

25. **The key** role of mica during igneous concentration of tantalum / A. Stepanov, J. A. Mavrogenes, S. Meffre, P. Davidson // Contrib. Mineral. Petrol. – 2014. – Vol. 167. – P. 1009.

26. **Vigneresse J. L.** The role of discontinuous magma inputs in felsic magma and ore generation // Ore geology reviews. – 2007. – Vol. 30. – P. 181–216.

27. **Villaseca C., Barbero L., Herreros V.** A reexamination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts // Trans. R. Soc. of Edinburg Earth Science. – 1998. – Vol. 89. – P. 113–119.

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

29. **Xu J.-F., Wang Q., Yu X.-Y.** Geochemistry of high-Mg andesites and adakitic andesite from the Sanchazi block of the Mian-Lue ophiolitic mélange in the Qinling Mountains, central China: Evidence of partial melting of the subducted Paleo-Tethyan crust // Geochem. Journ. – 2000. – Vol. 34. – P. 359–377.

REFERENCES

1. Betekhtin A.G. *Mineralogiya* [Mineralogy]. Moscow, 1949. 550 p. (In Russ.).

2. Vinogradov A.P. [The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the Earth's crust]. *Geokhimiya – Geochemistry*, 1962, no. 7, pp. 555–571. (In Russ.).

3. Gusev A.I. [Petrogenesis of superposed shoshonitic and high-K adakitic granitoids of the Early Mesozoic of the Gorny Altai]. *Geodinamicheskaya evolyutsiya litosfery Tsentralno-Aziatskogo podvizhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu)* [Geodynamic evolution of lithosphere in the Central-Asian mobile belt (from ocean to continent)]. Irkutsk, Institute of the Earth's Crust Publ., 2016, p. 5860. (In Russ.).

4. Gusev A.I., Kozlova T.N. [Beryllium ore mineralization of Altai]. *Prirodnye resursy Gornogo Altaya: geologiya, geofizika, ekologiya, mineral'nye, vodnye i lesnye resursy Altaya – Natural resources of the Gorny Altai: geology, geophysics, ecology, mineral, water and forest resources of Altai*, 2009, no. 1, pp. 21–35. (In Russ.).

5. Gusev A.I., Gusev N.I., Tabakaeva E.M. [Absolute age, petrology, geochemistry and ore mineralization of the Tochilny stock in the Gorny Altai]. *Izv. Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2017, vol. 328, no. 3, pp. 14–26. (In Russ.).

6. Kuznetsov V.A. [New data on geology and metallogeny of Altai]. *Vestnik ZSGU*, 1941, no. 1–2, pp. 5–63. (in Russ.).

7. Kuznetsov V.A. [Tectonic zoning and essentials of endogenous metallogeny in the territory of the Gorny Altai]. *Trudy IGG CO AN SSSR*, 1963, vol. 13, pp. 5–28. (In Russ.).

8. Kupriyanova I.I., Shpanov Ye.P., Anufriyeva S.I. [Berillium ores of Russia: mineral resources base, technological and ecological problems]. *Mineralnoye syrye. Ser. geologo-ekonom.* [Mineral Raw Materials. Geological-economical series]. Moscow, VIMS Publ., 2005, no. 18. 68 p. (In Russ.).

9. Kovalenko V.I., Rub M.G., Osipov M.A., et al. *Rudonosnost magmaticheskikh assotsiatsii* [Ore potential of igneous associations]. Moscow, Nedra, 1988. 231 p. (In Russ.).

10. Sotnikov V.I., Nikitina E.I. *Molibdeno-redkometallno-volframovaya (greyzenovaya) formatsiya Gornogo Altaya* [Molybdenum–rare-metal–tungsten (greisen) formation of the Gorny Altai]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1971. 260 p. (In Russ.).

11. Ivanov V.V., Belevitin V.V., Borisenko L.F., et al. *Sredniye soderzhaniya elementov-primesey v mineralakh* [Average contents of accompanying elements in minerals]. Moscow, Nedra Publ., 1973. 208 p. (In Russ.).

12. Stankeev E.A. *Geneticheskaya mineralogiya* [Genetic mineralogy]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 272 p. (In Russ.).

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

14. Barth M.G., McDonough W.F., Rudnick R.L. Tracking the budget of Nb and Ta in the continental crust. *Chem. Geol.*, 2000, vol. 165. – P. 197–213.

15. Defant M.J., Drummond M.S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, 1990, vol. 347, pp. 662–665.

16. Drummond M.S., Defant M.J. A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archean to modern comparisons. *J. Geophys. Res.*, 1990, vol. 95, pp. 21503–21521.

17. Ren L., Liang H., Bao Z., et al. Genesis of the high Sr/Y rocks in Qinling orogenic belt, central China. *Lithos*, 2018, vol. 314–315, pp. 337–349.

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

19. Ishihara S. The granitoid series and mineralization. *Econ. Geol*., 1981, 75th Anniversary Volume, pp. 458–484.

20. Jeong-Im O., Sung H.C., Keewook Y. Origin of adakite-like plutons in southern Korea. *Lithos*, 2016, vol. 262, pp. 620–635.

21. Jochum K., Stolz A., McOrist G. Niobium and tantalum in the carbonaceous chondrites: constraints on the solar system and primitive mantle niobium/tantalum, zirconium/niobium and niobium/uranium ratios. *Meteorit. Planet. Sci*., 2000, vol. 35, pp. 229–235.

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

23. Deng J., Yang X., Li S., et al. Partial melting of subducted paleo-Pacific plate during the early Cretaceous: Constraint from adakitic rocks in the Shaxi porphyry Cu–Au deposit, Lower Yangtze River Belt. *Lithos*, 2016, vol. 262, pp. 651–667.

24. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processed. *Magmatism in the oceanic basins* (Eds. A.D.Saunders, M.J.Norry). *Geol. Soc. of London Spec. Publ.*, 1989, no. 42, pp. 313–345.

25. Stepanov A., Mavrogenes J.A., Meffre S., Davidson P. The key role of mica during igneous concentration of tantalum. *Contrib. Mineral. Petrol*., 2014, vol. 167, pp. 1009.

26. Vigneresse J.L. The role of discontinuous magma inputs in felsic magma and ore generation. *Ore geology Reviews*, 2007, vol. 30, pp. 181–216.

27. Villaseca C., Barbero L., Herreros V. A reexamination of the typology of peraluminous granite types in intracontinental orogenic belts. *Trans. R. Soc. of Edinburg Earth Science*, 1998, vol. 89, p. 113–119.

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

29. Xu J.-F., Wang Q., Yu X.-Y. Geochemistry of high-Mg andesites and adakitic andesite from the Sanchazi block of the Mian-Lue ophiolitic melange in the Qinling Mountains, central China: Evidence of partial melting of the subducted Paleo-Tethyan crust. *Geochem. Journ*., 2000, vol. 34, pp. 359–377.

УДК (552.3:550.93):551.732(571.52)

СТРОЕНИЕ, ВОЗРАСТ, ГЕОХИМИЧЕСКИЙ И ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЙ (SM/ND) СОСТАВ СЕРЛИГСКОЙ СВИТЫ КЕМБРИЯ ТАННУОЛЬСКОГО ТЕРРЕЙНА ТУВЫ

Е. В. Ветров[1,2], А. Н. Уваров[1], И. А. Вишневская[3], М. В. Червяковская[4], Н. И. Ветрова[2], Ф. И. Жимулев[2], Е. С. Андреева[1]

[1]Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия; [2]Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия; [3]Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН, Москва, Россия; [4]Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Серлигская свита, слагающая основную часть Таннуольского террейна, представлена дифференцированной серией от толеитовых базальтов до плагиориолитов, сформированной в условиях незрелой океанической островной дуги. Возраст свиты раннекембрийский. Источник серлигских магм имеет мантийную природу (ε_{Nd}(T) от 5,7 до 7,7) и модельный возраст 550–760 млн лет (поздний рифей – венд).

Ключевые слова: *геохронология, изотопная геохимия, циркон, вулканизм, кембрий, Тува, Таннуольский террейн.*

STRUCTURE, AGE, GEOCHEMICAL AND ISOTOPE-GEOCHEMICAL (SM/ND) COMPOSITION OF THE SERLIGSKAYA FORMATION, TANNU-OLA TERRAIN OF TUVA

E. V. Vetrov[1,2], A. N. Uvarov[1], I. A. Vishnevskaya[3], M. V. Chervyakovskaya[4], N. I. Vetrova[2], F. I. Zhimulev[2], E. S. Andreeva[1]

[1]Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia; [2]V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, Russia; [3]V.I.Vernandskiy Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of RAS, Moscow, Russia; [4] A.N. Zavaritskiy Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, Ekaterinburg, Russia

The Serligskaya Formation constituting the main part of the Tannu-Ola terrain is composed of differentiated series from tholeitic basalts to plagiorhyolites, formed in the conditions of immature ocean island arc. The age of Serligskaya Formation is the Early Cambrian. The source of Serligskie magmas has mantle nature (ε_{Nd}(T) from +5,7 to +7,7) and model age of 550–760 Ma (Late Riphean–Vendian).

Keywords: *geochronology, isotope geochemistry, zircon, volcanism, Cambrian, Tuva, Tannu-Ola terrain.*

DOI 10.20403/2078-0575-2020-1-81-94

Таннуольский террейн расположен в юго-восточной части Алтае-Саянской складчатой области и сложен преимущественно раннекембрийскими вулканогенно-осадочными породами островодужной ассоциации (кадвойская, серлигская, ирбитейская свиты), которые прорваны разновозрастными (кембрий – девон) и полиформационными гранитоидными комплексами (таннуольским, арголикским, бреньским и др.) (рис. 1). Раннекембрийская история формирования террейна связана с заложением Алтае-Саянской островодужной системы [2], входившей в состав существовавшей в тот период непрерывной цепи вулканических дуг, обрамляющих всю западную (в современных координатах) окраину Сибирского континента [10]. На начальных этапах формирования островной вулканической дуги в пределах террейна формировались мощные вулканогенные толщи кадвойской и серлигской свит, на заключительных – ассоциирующие с вулканогенными образованиями существенно известняковые осадки ирбитейской свиты.

Объект данного исследования – вулканогенные образования серлигской свиты, которые слагают основной объем островодужной ассоциации Таннуольского террейна. Породы свиты являются источником рудного вещества и благоприятной средой для локализации золото-сульфидно-кварцевого, магнетитового скарнового и полиметаллического оруденений, медной минерализации гидротермального генезиса [14]. Подобное разнообразие полезных ископаемых обусловлено, наряду с благоприятными структурно-тектоническими условиями локализации, вещественным составом свиты. Поэтому актуальны всесторонние исследования таких образований с привлечением прецизионных методов.

Нами в процессе изучения состава и строения серлигской свиты был уточнен ее возраст, получены геохимические и изотопно-геохимические характеристики ее вулканических пород, оценен их Sm/Nd модельный возраст.

Состав и строение серлигской свиты

Образования серлигской свиты слагают среднюю часть раннепалеозойского островодужного разреза Таннуольского террейна. Они согласно залегают на кадвойской свите и трансгрессивно перекрываются (через горизонт базальных конгломератов) вулканогенно-карбонатными отложениями ирбитейской. Для серлигской свиты характерна

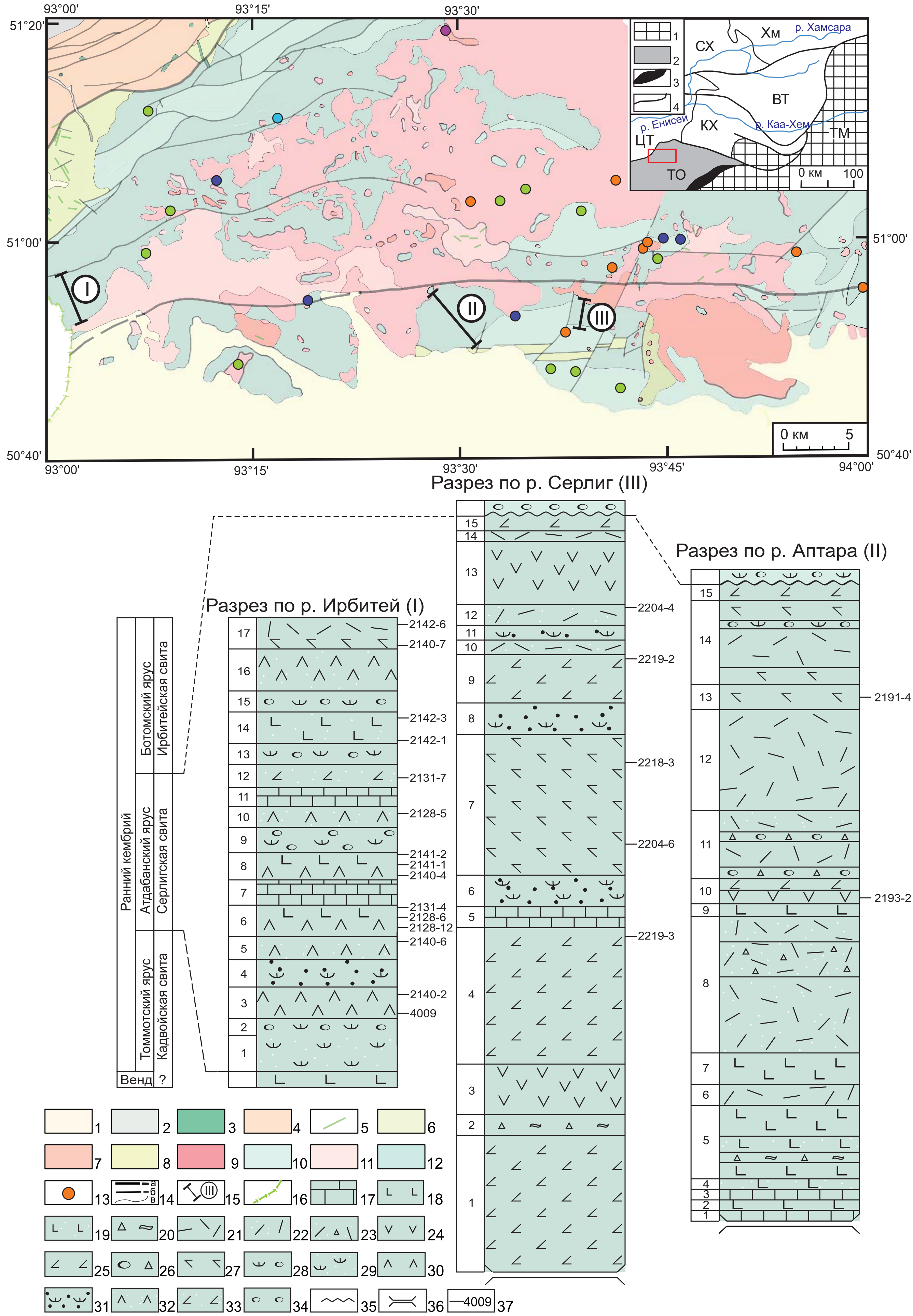

93°00'
93°15'
93°30'
93°45'
94°00'
51°20'
51°00'
50°40'
I
II
III
0 км 5
1
2
3
4
СХ
Хм
р. Хамсара
ВТ
р. Енисей
КХ
р. Каа-Хем
ТМ
ЦТ
ТО
0 км 100
Разрез по р. Серлиг (III)
Разрез по р. Аптара (II)
Разрез по р. Ирбитей (I)
Ранний кембрий
Томмотский ярус
Атдабанский ярус
Ботомский ярус
Кадвойская свита
Серлигская свита
Ирбитейская свита
Венд
?
2142-6
2140-7
2142-3
2142-1
2131-7
2128-5
2141-2
2141-1
2140-4
2131-4
2128-6
2128-12
2140-6
2140-2
4009
2204-4
2219-2
2218-3
2204-6
2219-3
2191-4
2193-2
а
б
в

Рис. 1. Геологическое положение и строение разрезов серлигской свиты (линии корреляции проведены условно)

1 – кайнозойские осадки (Ng–Q); 2 – каменноугольные терригенные осадки; 3 – торгалыгский сиенит-габбровый комплекс (D_3–C_1); 4 – девонские вулканогенно-осадочные, терригенные и терригенно-карбонатные отложения Центрально-Тувинского прогиба (D_1–D_3); 5 – базитовые дайки (PZ–MZ); 6 – ордовикско-силурийские терригенные и терригенно-карбонатные отложения Центрально-Тувинского прогиба (O_3–S_2); 7 – породы арголикского гранодиорит-гранитового комплекса; 8 – породы деспенской андезит-риодацитовой толщи (O_3); 9 – породы таннуольского диорит-гранодиорит-плагиогранитового комплекса ($Є_{2–3}$); 10 – породы ирбитейского андезит-базальтового вулканического комплекса ($Є_1$); 11 – породы габбро-плагиогранитового комплекса майнского типа ($Є_1$); 12 – породы кадвойско-серлигского базальт-андезит-риолитового вулканического комплекса; 13 – проявления твердых полезных ископаемых (оранжевый цвет – золото, зеленый – медь, голубой – полиметаллические руды, темно-синий – железные руды, пурпурный – молибден); 14 – границы: а – главные разломы, б – второстепенные разломы, в – между геологическими подразделениями; 15 – положение изученных разрезов; 16 – российско-монгольская государственная граница; 17 – известняки; 18 – базальты; 19 – туфы основного состава; 20 – лавобрекчии; 21 – риолиты; 22 – туфы кислого состава; 23 – туфобрекчии кислого состава; 24 – андезиты; 25 – андезибазальты; 26 – конглобрекчии; 27 – плагиориодациты; 28 – туфоконгломераты; 29 – туфопесчаники; 30 – плагиодациты; 31 – туфогравелиты; 32 – туфы плагиодацитов; 33 – туфы андезибазальтов; 34 – конгломераты; 35 – несогласное залегание; 36 – разлом; 37 – положение в разрезе отобранных проб. *На врезке:* схема тектонического строения Восточной Тувы, составленная по материалам А. Б. Кузьмичева [11] и А. А. Монгуша с соавторами [13]: 1 – Тувино-Монгольский массив; 2 – Таннуольский террейн (рассматриваемый в данной работе); 3 – Агардагский массив; 4 – границы террейнов (СХ – Систигхемского, Хм – Хамсаринского, ВТ – Восточно-Тувинского, КХ – Каахемского, ТО – Таннуольского); ЦТ – Центрально-Тувинская наложенная герцинская структура

значительная фациальная изменчивость, большое разнообразие породных разностей, тонкое чередование осадочных и вулканогенных образований, широкое развитие известняков и вулканитов среднего и кислого составов с характерной «пестрой» окраской в красных тонах, доминирование среди излившихся пород разностей кислого состава с преобладанием туфов.

Для выявления особенностей строения свиты нами детально изучены разрезы по рекам Ирбитей, Аптара и Серлиг (южный склон хребта Восточный Танну-Ола) (см. рис. 1). Несмотря на то что эти разрезы в совокупности характеризуют свиту достаточно полно, ни один из них не представляет ее целиком, так как в них отсутствует либо верхняя ее часть, либо нижняя. Разрезы находятся в 15–20 км друг от друга и практически не коррелируют между собой, что наглядно отражает фациальную изменчивость отложений.

Стратотипический разрез свиты по р. Серлиг суммарной мощностью около 3 км, впервые описан Г. Н. Лукашевым [12] (снизу вверх, м):

1. Мраморизованные известняки с *Epiphyton* 50
2. Лавобрекчии, плагиоклаз-порфировые базальты и их туфы 50
3. Мраморизованные известняки 50
4. Туфы основного состава 50
5. Плагиоклаз-порфировые базальты, лавобрекчии и туфы 350
6. Флюидальные плагиориолиты 100
7. Плагиоклаз-порфировые базальты 150
8. Кислые литокристаллокластические туфы и туфобрекчии 650
9. Плагиоклаз-порфировые базальты 60
10. Лиловые андезиты и андезибазальты 120
11. Конглобрекчии, плагиориолиты и их туфы ...325
12. Желтовато-серые флюидальные плагиориолиты 480
13. Красные плагиориодациты и их туфы 120
14. Красные плагиориодациты, плагиориолиты, их лавобрекчии и туфы, туфоконгломераты в прослоях 400
15. Миндалекаменные андезибазальты .... >25

Нижняя часть разреза серлигской свиты детально изучена нами по р. Ирбитей, где на кварцсодержащих базальтах кадвойской свиты согласно залегают (снизу вверх, м):

1. Туфопесчаники серовато-зеленые, мелкосреднезернистые массивные 170
2. Туфоконгломераты мелкогалечные (размер галек в поперечнике 0,5–7 см) серо-зеленые с хорошо окатанными гальками базальтоидов (преобладают), дацитов, риодацитов, риолитов, реже – известняков. Порода рассланцована, хлоритизирована, карбонатизирована 80
3. Плагиодациты светло-серые плотные с вкрапленниками кварца 150
4. Туфогравелиты зеленовато-серые 130
5 Пепловые туфы плагиодацитов пепельно-серые 110
6. Базальты и андезиты зеленовато-серые с порфировыми выделениями плагиоклаза 150
7. Известняки серые, желтовато-серые массивные 120
8. Базальты и андезиты зеленовато-серые с небольшими порфировыми выделениями плагиоклаза (породы аналогичны разностям, слагающим слой 6 настоящего разреза) 130
9. Туфоконгломераты с пестро окрашенными (зеленовато-серые, вишневые) гальками размером в поперечнике 1–15 см 120
10. Плагиодацитовые туфы зеленовато-серые пепловые псаммитовые 100
11. Известняки серые массивные 90
12. Лапиллиевые туфы андезибазальтов вишнево-серые 110
13. Туфоконгломераты мелкогалечные (размер галек в поперечник до 4 см). Окатанные и полуока-

танные гальки составляют до 75 % объема породы, представлены как базальтоидами, так и вулканитами кислого состава 100

14. Базальтовые серо-зеленые туфы лапиллиевые мелкопсефитовые 150

15. Туфоконгломераты вишнево-серые мелкогалечные (размер в поперечнике до 3 см) 100

16. Лапиллиевые туфы плагиодацитов вишнево-серые до темно-вишневого 200

17. Плагиориолиты и плагиориодациты темно-вишневые с вкрапленниками кварца и плагиоклаза ...150

Общая мощность отложений по разрезу составляет не менее 2160 м.

Верхняя часть разреза серлигской свиты наиболее полно представлена по р. Аптара, а нижняя часть здесь уничтожена средне-позднекембрийскими гранитоидами таннуольского комплекса (снизу вверх, м):

1. Андезибазальты серо-зеленые с редкими мелкими вкрапленниками плагиоклаза (длиной до 2 мм). В верхних частях потоков породы миндалекаменные ....≤650

2. Темно-вишневые до вишнево-серых базальтовые лавобрекчии, переходящие в миндалекаменные базальты (шлаковая корка потока) 100

3. Серо-зеленые андезиты с вкрапленниками плагиоклаза. В нижней части слоя порода трещиноватая, эпидотизированная и хлоритизированная 240

4. Андезибазальты вишнево-серые массивные с редкими вкрапленниками плагиоклаза. В середине интервала порода пронизана сетью маломощных прожилков кварц-эпидотового состава 650

5. Известняки серые мраморизованные 100

6. Туфогравелиты буровато-серые, серо-бурые ...150

7. Плагиориодациты светло-серые плотные с редкими небольшими вкрапленниками плагиоклаза, кварца и нацело замещенного хлоритом биотита (?) 670

8. Серо-зеленые туфогравелиты. Среди кластического материала преобладают обломки кислых эффузивов, присутствуют базальтоиды и вулканическое стекло 150

9. Массивные темно-серые андезибазальты с порфировыми выделениями плагиоклаза, местами миндалекаменные. Миндалины выполнены кварцем, эпидотом и кальцитом 230

10. Вишнево-бурые лапиллиевые туфы плагиориолитов 70

11 Серо-зеленые туфогравелиты 50

12. Вишнево-бурые пепловые туфы плагиориолитов 100

13. Вишнево-серые андезиты массивные с редкими вкрапленниками плагиоклаза 300

14. Темно-вишневые, вишнево-серые плагиориолиты тонкофлюидальные с небольшими (длиной не более 2 мм) редкими вкрапленниками альбита 50

15. Вишнево-серые лавобрекчии плагиодацитов флюидальные с многочисленными вкрапленниками плагиоклаза 70

Выше слоя 15 несогласно залегают базальные конгломераты ирбитейской свиты. Мощность отложений по разрезу 3580 м.

Петрография и минералогия вулканогенных образований серлигской свиты

В составе свиты выделяются плагиориолиты, плагиориодациты, плагиодациты, бескварцевые и кварцсодержащие базальты, андезибазальты и андезиты, а также туфы всех перечисленных разностей, туфоконгломераты, туфогравелиты, туфопесчаники и известняки.

Плагиориолиты, плагиориодациты, плагиодациты и их туфы светло-серые, буровато-серые, вишнево-серые, вишневые порфировые, флюидальные породы с микрофельзитовой, фельзитовой, аповитрофировой, реже микроаллотриоморфнозернистой основной массой (рис. 2, а–г). Количество порфировых выделений (кварц, плагиоклаз, биотит) варьирует от единичных кристаллов до 15 % от объема породы (см. рис. 2, а). Длина вкрапленников достигает 3–4 мм. Акцессорные минералы – циркон и сфен. Туфы по соотношению обломков разделяются на литокластические, кристаллокластические, литокристаллокластические, витролитокристаллокластические разности; по характеру обломков – на пепловые и лапиллиевые, а бомбовые и глыбовые разности не установлены. Цементирующая масса туфов алевритовая, представляет собой микрооскольчатый агрегат плагиоклаза и кварца, скрепленный пелитовым пепловым материалом. В ряде случаев в цементирующей массе присутствуют пепловые частицы серповидной и рогульчатой формы, а также мельчайшие (пелитовой размерности) частицы кварца и плагиоклаза.

Бескварцевые базальты порфировые, гломеропорфировые, сериально-порфировые, реже афировые. Количество вкрапленников непостоянно – 1–20 % от объема породы. Вкрапленники представлены плагиоклазом, моноклинным пироксеном, реже оливином. При этом всегда количественно преобладает плагиоклаз, длина призматических фенокристаллов которого может достигать 1 мм. Порфировые выделения плагиоклаза часто образуют гломеропорфировые срастания друг с другом, реже с пироксеном и оливином. Плагиоклаз вкрапленников в различной степени эпидотизирован, карбонатизирован, серицитизирован, местами по нему развиты игольчатые агрегаты актинолита. Основная масса породы интерсертальная, в центральных частях потоков – долеритовая. В шлаковых корках верхних частей потоков интерсертальная структура сменяется гиалопилитовой. Местами в верхних частях потоков развиты лавобрекчии.

Кварцсодержащие базальты – плотные тонкоскрытокристаллические афировые породы с интерсертальной структурой, сложенные беспорядочно расположенными удлиненными зернами плагио-

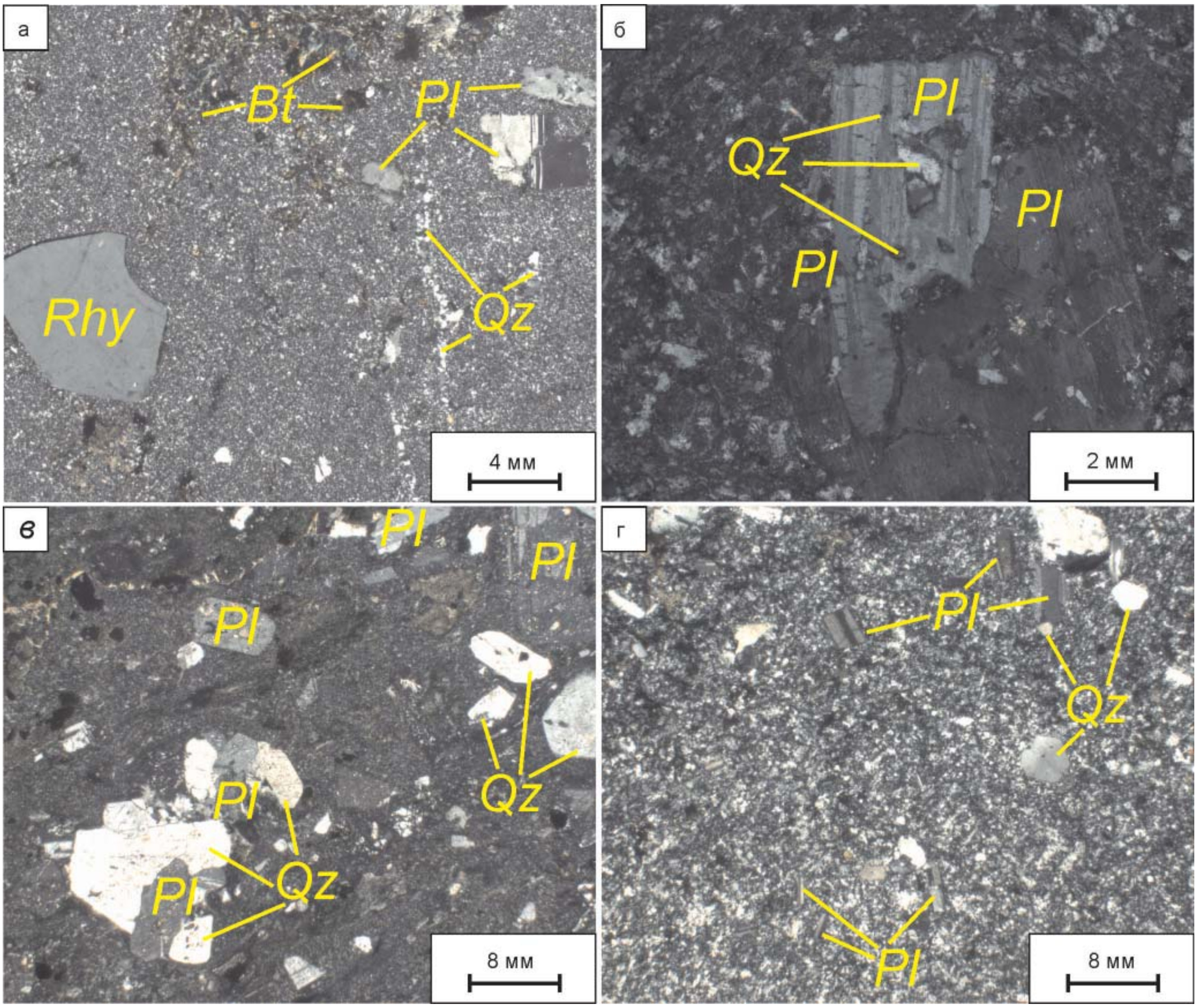


Рис. 2. Структурно-текстурные особенности кислых вулканитов серлигской свиты: а – плагиориолит (шлиф 2142–6), б – плагиориодацит (шлиф 2204–6), в – плагиориодацит (шлиф 2191–4), г – плагиодацит (шлиф 2128–5). Николи скрещены. Pl – плагиоклаз, Qz – кварц, Bt – биотит, Rhy – обломок риолита

клаза (75 %), с интерстициями, заполненными бесцветным моноклинным пироксеном, кварцем, рудным минералом, кальцитом и хлоритом, которые замещают первичный стекловатый мезостазис.

Туфы базальтов относительно редки, представлены лапиллиевыми литокластическими разностями с примесью кристаллокластического материала, вплоть до появления кристаллолитокластических разновидностей. Главной составляющей породы являются обломки базальтоидов (до 70 %) с различными структурами и текстурами. В меньших количествах присутствуют осколки кристаллов плагиоклаза (до 5–6 %). Размеры обломков базальтоидов в поперечнике обычно составляют 2–5 мм, могут достигать 10 мм.

Андезибазальты характеризуются порфировой, сериально-порфировой структурами с присутствием во вкрапленниках плагиоклаза, часто образующего гломеропорфировые срастания. Цветные минералы в фенокристаллах не выявлены. Основная масса интерсертальная, реже пилотакситовая. У миндалекаменных разностей овальные миндалины размером в поперечнике до 4–5 мм выполнены агрегатами кварца, хлорита, карбоната и эпидота в различных сочетаниях и соотношениях.

Туфы андезибазальтов относительно редки. Это лапиллиевые литокристаллокластические разности с псефитовой размерностью кластического материала. Они сложены обломками лав андезибазальтов с различающимися текстурой и структурой, а также осколками кристаллов плагиоклаза, реже кварца. Первоначальный цемент был пепловым, в настоящее время представлен агрегатом окислов железа, вследствие чего порода приобрела окраску в бурых тонах.

Андезиты чаще порфировые. Вкрапленников не более 5–7 %, они образованы плагиоклазом, меньше и реже – кварцем, часты гломеропорфировые срастания плагиоклаза. Изредка проявлена линофировая структура за счет ориентировки вкрапленников плагиоклаза; фенокристаллы длиной не

Содержания петрогенных (мас. %), редкоземельных элементов (г/т) и микроэлементов (г/т) в вулканитах сергигской

Компонент	2128–6	2141–1	2142–1	2142–3	2131–4	2141–2	2219–2	2219–3	2131–7	2128–12	2140–4
SiO_2	45,2	48,25	48,6	49	50,2	50,6	55,74	55,77	57	59,5	60,48
TiO_2	0,98	0,76	0,69	0,93	0,81	0,79	0,76	0,78	0,8	0,87	0,96
Al_2O_3	19,5	16,86	17,4	17,8	16,7	16,6	17,28	17,57	16	14,7	15,16
$Fe_2O_{3\,общ}$	11,4	11,19	9,4	12,1	9,8	11,2	7,31	7,32	8	10,1	10,09
MnO	0,15	0,21	0,14	0,19	0,19	0,22	0,11	0,11	0,14	0,11	0,06
MgO	4,5	6,02	5,8	5,6	4,8	4,6	4,24	4,3	2,9	2,1	1,45
CaO	10,7	9,85	11,2	7,7	7,9	8,6	5,71	5,73	4,8	2,9	2,51
Na_2O	2,6	2,82	2,8	4,6	3	4,8	5,08	5,11	3,8	3,5	7,67
K_2O	0,8	0,86	1	0,3	1,4	0,2	0,12	0,11	1,4	2,9	0,07
P_2O_5	0,15	0,1	0,13	0,17	0,14	0,1	0,18	0,18	0,16	0,17	0,17
ППП	2,8	1,73	2,5	1,7	3,5	0,9	2,86	2,22	4	1,9	0,62
Сумма	98,7	98,65	99,5	100,1	98,5	98,7	99,4	99,2	98,9	98,7	99,25
Rb	10,3	–	–	–	16,9	3,76	–	–	15,2	45	–
Sr	490	–	–	–	419	339	–	–	331	200	–
Y	16,9	–	–	–	15,4	15,1	–	–	18	23,7	–
Zr	44,2	–	–	–	59,5	47,5	–	–	93,3	68,8	–
Nb	0,67	–	–	–	1,54	0,65	–	–	1,78	1,09	–
Cs	0,27	–	–	–	0,23	0,14	–	–	0,36	0,54	–
Ba	363	–	–	–	547	136	–	–	470	482	–
La	5,79	–	–	–	5,53	4,72	–	–	9,32	7,43	–
Ce	13,2	–	–	–	14,1	10,9	–	–	22,2	16,8	–
Pr	1,98	–	–	–	1,94	1,65	–	–	3,03	2,6	–
Nd	10,2	–	–	–	9,59	7,68	–	–	12,5	13,8	–
Sm	2,66	–	–	–	2,41	2,21	–	–	3,27	3,63	–
Eu	0,87	–	–	–	0,93	0,79	–	–	1,05	1,09	–
Gd	2,48	–	–	–	2,55	2,19	–	–	3,04	3,72	–
Tb	0,46	–	–	–	0,41	0,44	–	–	0,5	0,65	–
Dy	2,74	–	–	–	2,83	2,68	–	–	3,28	4,2	–
Ho	0,6	–	–	–	0,63	0,58	–	–	0,68	0,86	–
Er	1,53	–	–	–	1,68	1,58	–	–	1,84	2,36	–
Tm	0,26	–	–	–	0,22	0,26	–	–	0,29	0,34	–
Yb	1,91	–	–	–	1,5	1,59	–	–	1,67	2,6	–
Lu	0,31	–	–	–	0,25	0,27	–	–	0,28	0,47	–
Hf	1,07	–	–	–	1,35	1,29	–	–	2,06	1,64	–
Ta	0,1	–	–	–	0,1	0,1	–	–	0,13	0,1	–
Pb	7,01	–	–	–	4,84	4,4	–	–	9,9	5,6	–
Th	0,96	–	–	–	0,66	0,85	–	–	1,68	1,22	–
U	0,26	–	–	–	0,32	0,23	–	–	0,64	0,77	–

более 3–4 мм, местами зональные. Более мелкие и редкие изометричные (размер в поперечнике до 0,4 мм) выделения образует кварц. Основная масса обычно пилотакситовая, сложена микролитами плагиоклаза, промежутки между которыми заполнены хлоритом и рудным минералом, часто превращенным в гидроокислы железа. У миндалекаменных разностей миндалины (размер в поперечнике не более 7 мм) заполнены агрегатом кварца.

Туфы андезитового состава лапиллиевые литокластические с примесью кристаллокластического материала. Разновеликие угловатые и округлые обломки (размер в поперечнике до 30 мм, чаще до 10 мм) пород, реже осколки кварца и плагиоклаза погружены в алевритовую пепловую тонко поляризующую массу.

Туфоконгломераты мелкогалечные – буровато-серые, серо-бурые, серо-зеленые породы с пестро окрашенными (зеленовато-серыми, вишневыми) гальками размером в поперечнике от 1 до 1 см базальтоидов, дацитов, риодацитов, плагиориолитов, вулканического стекла. Также присутствуют отдельные гальки известняков (не более 7 % от общего количества галек), субвулканических микродиоритов и единичные обломки плагиогранитов. Материал заполнения представлен мелкими (псаммитовой размерности) обломками базальтоидов и риолитоидов, кварца, плагиоклаза.

Таблица 1

свиты

Компонент	2193–2	2140–2	2140–6	2128–5	4009	2204–6	2191–4	2218–3	2140–7	2204–4	2142–6
SiO_2	60,6	63,79	67,4	67,6	68,8	70,15	71,1	72,6	72,7	74	78,31
TiO_2	1,82	1	0,64	0,6	0,58	0,26	0,3	0,34	0,34	0,31	0,25
Al_2O_3	14	13,98	13,9	14,2	14,5	15,52	14,3	13,7	11,9	12,5	9,64
$Fe_2O_{3\,общ}$	8,9	7,49	5,5	5,5	4,5	3,97	2,6	1,9	3,6	2,6	3,27
MnO	0,18	0,15	0,27	0,1	0,09	0,03	0,06	0,02	0,06	0,1	0,11
MgO	2,5	1,91	1,2	1	0,9	0,32	0,4	0,2	0,3	0,4	0,95
CaO	3,9	3,65	2,4	0,9	2,8	0,23	1,2	0,3	6,3	1,6	1,68
Na_2O	4,4	3,51	3,8	7,6	4,4	1,72	3,9	3,8	2,8	1,2	4,37
K_2O	0,6	0,94	2,2	0,1	1,6	7,4	4,1	4,2	0,2	3,2	0,1
P_2O_5	0,69	0,31	0,13	0,13	0,15	0,03	0,06	0,05	0,05	0,02	0,03
ППП	2,1	1,88	1,4	0,9	1,1	1,45	1,1	0,9	0,8	2,9	1,22
Сумма	99,6	98,61	98,8	98,5	99,5	101,08	99,1	98	99	98,8	99,93
Rb	–	–	–	200	100	596	226	335	9,38	221	–
Sr	–	–	–	49,4	188	38,1	159	54,8	496	36,2	–
Y	–	–	–	41,5	43,6	296	15,5	48,7	51,5	41,8	–
Zr	–	–	–	123	287	892	99,2	387	58,1	355	–
Nb	–	–	–	2,43	3,13	24,9	4,1	16,4	2,16	12,9	–
Cs	–	–	–	0,1	0,12	0,48	0,6	0,74	0,02	0,68	–
Ba	–	–	–	33,6	378	955	649	544	40,8	510	–
La	–	–	–	14,3	24,9	82,5	14,3	32,9	9,5	16,5	–
Ce	–	–	–	35,5	48,2	189	28,6	77,5	25,9	50,8	–
Pr	–	–	–	4,99	5,75	24,2	3,26	9,02	3,79	5,03	–
Nd	–	–	–	23,1	23,3	104	11,9	32,4	17,8	20,4	–
Sm	–	–	–	6,37	5,54	28,4	2,42	7	5,16	5,05	–
Eu	–	–	–	1,62	1,59	5,42	1,03	1,14	0,93	1,18	–
Gd	–	–	–	5,64	6,23	32,1	2,59	7,65	6,16	5,88	–
Tb	–	–	–	1,05	0,98	6,36	0,38	1,21	1,17	1,04	–
Dy	–	–	–	6,95	5,95	40,9	2,27	7,5	7,74	6,59	–
Ho	–	–	–	1,46	1,31	9,03	0,5	1,64	1,7	1,45	–
Er	–	–	–	4,36	4,17	28,2	1,61	5,19	5,03	4,6	–
Tm	–	–	–	0,62	0,66	4,19	0,25	0,82	0,72	0,69	–
Yb	–	–	–	4,33	4,55	27,9	1,74	5,58	4,48	4,69	–
Lu	–	–	–	0,67	0,74	4,11	0,28	0,85	0,61	0,73	–
Hf	–	–	–	3,72	6,68	22,8	2,85	9,71	1,97	8,12	–
Ta	–	–	–	0,14	0,2	1,62	0,29	1,08	0,15	0,86	–
Pb	–	–	–	2,3	3,53	349	7,5	5,45	3,91	3,73	–
Th	–	–	–	3,08	4,94	18,9	4,2	7,44	2,12	5,89	–
U	–	–	–	0,93	1,51	2,87	1,77	2,58	0,85	2,03	–

Туфогравелиты и туфопесчаники отличаются от туфоконгломератов и друг от друга только размерностью обломков.

Известняки – серые, желтовато-серые массивные, местами неясно-полосчатые мелко-среднезернистые породы. При мраморизации в них увеличивается размер зерен кальцита (до 3 мм в поперечнике).

Петрохимические и геохимические особенности покровных фаций серлигской свиты

Определение петрохимических элементов выполнено рентгенофлуоресцентным методом в лаборатории СНИИГГиМС (Новосибирск, аналитик Д. О. Артамонов), содержания редкоземельных элементов (РЗЭ) и микроэлементов – масс-спектрометрическим методом с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) в центральной лаборатории ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург, аналитики В. А. Шишлов, В. Л. Кудряшов) и центра коллективного пользования «Геоаналитик» УрО РАН (Екатеринбург, аналитик Д. В. Киселева). Результаты определений содержаний петрогенных, редкоземельных элементов и микроэлементов приведены в табл. 1.

Совокупность вулканических пород серлигской свиты образует ряд от нормальнощелочных до умереннощелочных разностей (рис. 3, а). Для них характерна обратная корреляция содержаний

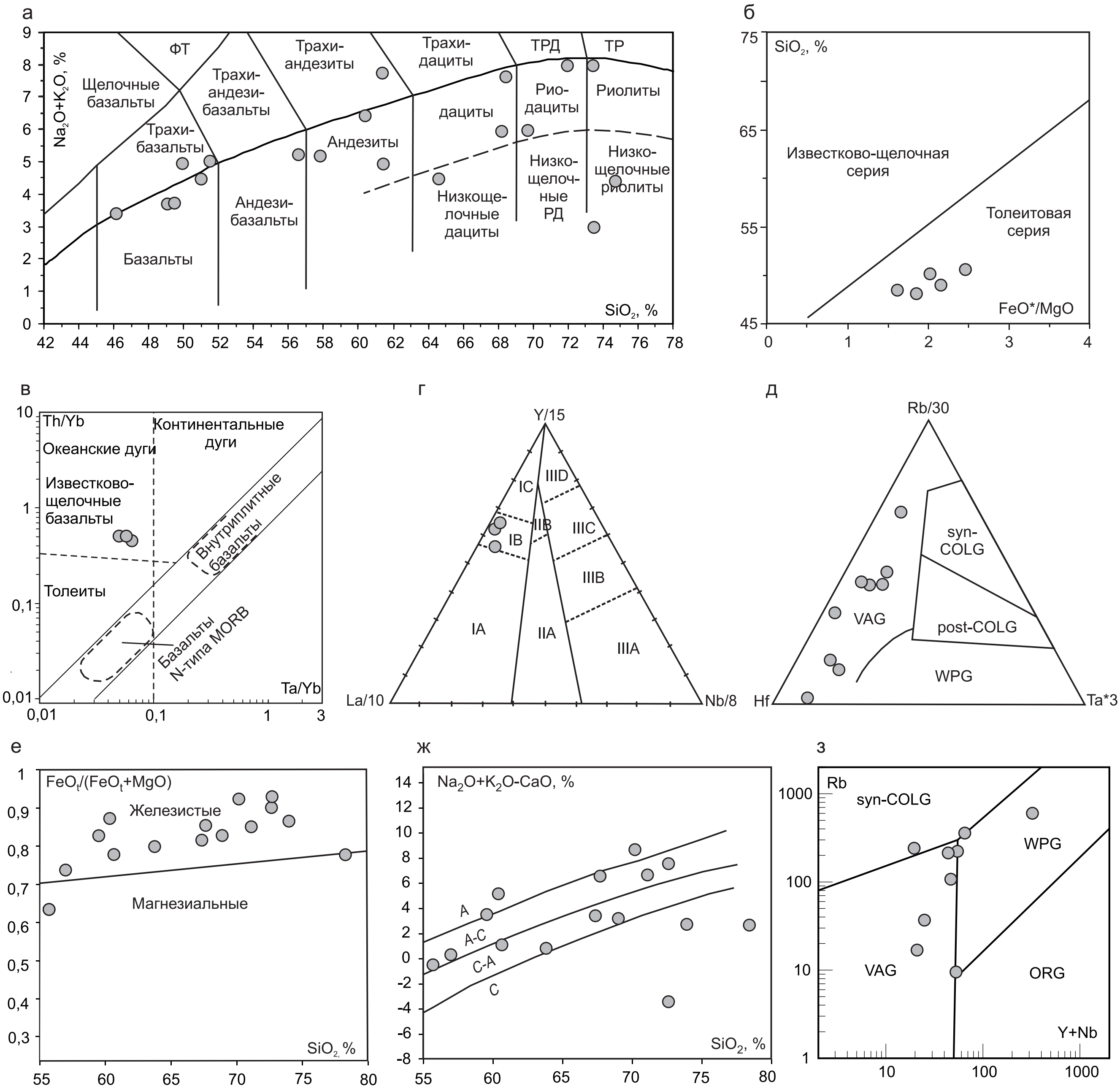


Рис. 3. Классификационные и дискриминационные диаграммы для вулканитов серлигской свиты (б–г –для основных, д–з – для кислых разностей): а – TAS-диаграмма: ФТ – фонотефриты, ТРД – трахириодациты, ТР – трахириолиты, РД – риодациты); б – диаграмма SiO_2 – FeO*/MgO [19]; в – диаграмма Ta/Yb-Th/Yb [20]; г – тройная диаграмма La/10-Y/15-Nb/8 [17]; д – тройная диаграмма Н. Харриса [18]; е, ж – диаграммы Фроста [16] (е – железистость, ж – индекс «MALI»); з – дискриминационная диаграмма Дж. Пирса [21]

Серии пород (ж): С – известковая, С-А – известково-щелочная, А-С – щелочно-известковая, А – щелочная; поля базальтов (г): I – базальты вулканических дуг (IA – известково-щелочные базальты, IC – островодужные толеиты, IB – известково-щелочные базальты и островодужные толеиты); II – континентальные базальты (IIA – континентальные базальты, IIB – базальты задуговых бассейнов); III – океанические базальты (IIIA – щелочные базальты внутриконтинентальных рифтов, IIIB, IIIC – Е-тип MORB, IIIB – обогащенные, IIIC – слабо обогащенные, IIID – N-тип MORB); поля гранитоидов (д, з): syn-COLG – синколлизионных, post-COLG – постколлизионных, WPG – внутриплитных, VAG – островодужных, ORG – океанических хребтов

кремнезема и общей щелочности, заключающаяся в незначительном понижении щелочности при повышении содержаний кремнезема.

Базальты серлигской свиты характеризуются натровым уклоном, низкой титанистостью (TiO_2 0,7–1 %), повышенными глиноземистостью (Al_2O_3 17–20 %), магнезиальностью (MgO 4,5–6 %), пониженной фосфатностью (P_2O_5 = 0,1–0,17 %), повышенными содержаниями кальция (CaO 8–11 %) и железа ($Fe_2O_{3общ}$ 10–11,5 %). Отношения FeO*/MgO колеблются от 1,6 до 2,5, что свидетельствует об их принадлежности к толеитовой серии (см. рис. 3, б). Базальтам свиты присущ невысокий уровень концентраций РЗЭ, свойственны слабо наклонные

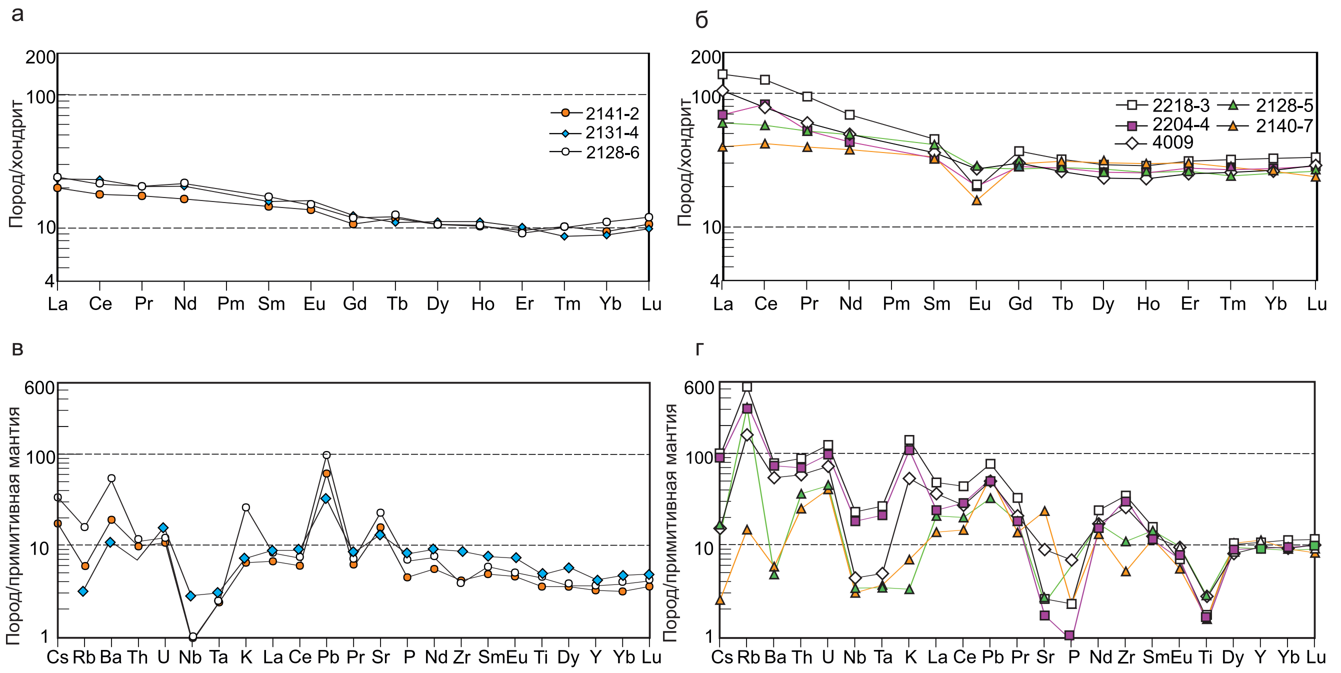


Рис. 4. Спайдер-диаграммы редкоземельных элементов (а, б) и мультиэлементные спайдер-диаграммы (в, г) вулканитов серлигской свиты основного (а, в) и кислого (б, г) составов; нормирование по [22]

положительные, практически субгоризонтальные спектры распределения РЗЭ с отношением $(La/Yb)_N$ = 2,1–2,6 и отсутствие минимума по европию (рис. 4, а). Такие спектры РЗЭ типичны для базальтов, формирующихся из неистощенных или обогащенных источников. На дискриминационных диаграммах (см. рис. 3, в, г) фигуративные точки базальтов серлигской свиты попадают в поля толеитовых и известково-щелочных базальтов островных дуг. На мультиэлементных спектрах для них отмечаются четкие отрицательные аномалии по Ta и Nb, слабый минимум по Zr, положительные аномалии по Pb и Sr (см. рис. 4, в). Обогащение относительно легких РЗЭ и высокозарядных элементов (Nb и Ta) крупноионными литофильными элементами (Rb, Ba, K), а также Sr, Pb характерно для вулканитов, генетически связанных с субдукционными обстановками.

Низкая титанистость, высокая магнезиальность, принадлежность к толеитовой серии, умеренное обогащение крупноионными литофильными элементами, умеренная Ta-Nb аномалия и нефракционированное распределение РЗЭ, позволяют предполагать, что базальты серлигской свиты формировались в условиях незрелой океанической островной дуги.

Кислые эффузивы серлигской свиты в целом характеризуются широкими диапазонами содержаний калия (K_2O 0,1–4 %), натрия (Na_2O 1,2–7,6 %), глинозема (Al_2O_3 9,6–15,5 %) и кальция (CaO 0,2–6 %), относятся к железистому типу (см. рис. 3, е), занимают промежуточное положение между известково-щелочными и щелочно-известковыми образованиями (см. рис. 3, ж).

Кислым вулканитам (плагиодацитам, плагиориодацитам, плагиориолитам) свиты присущи средние до высоких содержания (г/т) Rb (100–600), Sr (40–500), Ba (40–960) и Zr (60–555) при средних содержаниях Y 16–50. Им свойственны слабо дифференцированные спектры распределения РЗЭ с незначительным преобладанием легких лантаноидов над тяжелыми $(La/Yb)_N$ = 1,5–6 и слабо выраженные «европиевые минимумы» Eu/Eu* = 0,5–1,2, связанные с фракционированием плагиоклаза (см. рис. 4, б). Выделяются Ta-Nb минимумы и слабо проявленные максимумы по Pb, а также отрицательные аномалии по Sr, P, Ti (см. рис. 4, г). На дискриминационных диаграммах фигуративные точки составов кислых вулканитов серлигской свиты попадают в поля островодужных геодинамических обстановок (см. рис. 3, д, з).

В целом ряд геохимических признаков кислых вулканитов свиты, таких как железистость, Ta-Nb минимумы и максимумы по Pb, наследуется от ее базальтов. Однако некоторые особенности химизма, в частности вариации содержаний щелочей и глинозема, повышенные содержания Rb и Ba, характер распределения РЗЭ, указывают на более сложные условия формирования кислых вулканитов серлигской свиты и вероятный вклад других источников.

Возраст вулканитов серлигской свиты и природа магмообразующих субстратов

Вопрос о возрасте серлигской свиты до сих пор остается дискуссионным. Одни исследователи считают ее раннекембрийской [5, 6, 13], а другие – позднедокембрийской [1, 3, 8, 9].

Раннекембрийский возраст серлигской свиты устанавливается по наличию остатков водорослей *Epiphyton* [12] и археоциат Ajacicyathidae, *Araneocyathus* sp. [4] в горизонтах известняков низов

Результаты U/Pb изотопных исследований единичных зерен циркона (SHRIMP-II) из плагиориодацита (проба 2218–3)

Точка измерения	$^{206}Pb_c$, %	U, г/т	Th, г/т	$^{232}Th/^{238}U$	$^{206}Pb^*$, г/т	$^{206}Pb/^{238}U$ возраст
2218–3_1,1	$1{,}79 \cdot 10^{-29}$	131	76	0,60	9,27	511,4±7,5
2218–3_2,1	$1{,}79 \cdot 10^{-29}$	88	39	0,46	6,03	497,2±8,1
2218–3_3,1	$1{,}79 \cdot 10^{-29}$	157	81	0,54	11,3	521,8±7,3
2218–3_4,1	$1{,}79 \cdot 10^{-29}$	124	65	0,54	8,74	508,9±8
2218–3_5,1	$1{,}79 \cdot 10^{-29}$	134	76	0,59	9,64	515,2±7,5
2218–3_6,1	$1{,}79 \cdot 10^{-29}$	149	95	0,66	10,5	506,3±7,1
2218–3_7,1	$1{,}79 \cdot 10^{-29}$	127	69	0,56	8,94	508,1±7,4
2218–3_8,1	$1{,}79 \cdot 10^{-29}$	114	61	0,55	8,05	511,6±7,6
2218–3_9,1	$1{,}79 \cdot 10^{-29}$	167	109	0,68	11,6	502,8±6,9
2218–3_10,1	$1{,}79 \cdot 10^{-29}$	136	79	0,60	9,46	498,8±7,2

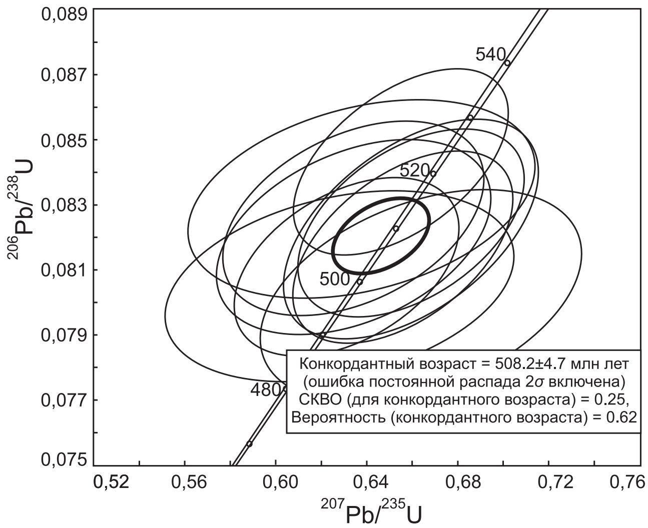
Примечание. Погрешности единичных анализов приведены на уровне 1σ; Pb_c и Pb^* указывают содержания с использованием измеренного ^{204}Pb.

ее разреза. Кроме того, в самых низах отложений ирбитейской свиты, перекрывающих серлигскую, содержится богатая фауна археоциат и трилобитов камешковского и санаштыкгольского комплексов.

А. Б. Гинцингер и М. К. Винкман [8, 9] отнесли свиту к рифею – венду или к просто венду путем анализа фаунистических остатков и расшифровки строения разрезов. В основу доказательства позднедокембрийского возраста серлигской свиты положены сборы микрофитолитов позднего рифея – венда из прослоев известняков среди вулканитов ондумской (предполагаемого фациального аналога серлигской) свиты соседнего Каахемского террейна, а также имеющегося, по их мнению [1, 3, 8, 9], крупного структурного несогласия и перерыва в осадконакоплении в основании вышележащих вулканогенно-осадочных отложений ирбитейской свиты, включающих фауну второй половины раннего кембрия. Кроме того, для другого предполагаемого фациального аналога серлигской свиты (туматтайгинская свита Восточно-Тувинского террейна) по восьми зернам циркона из эффузивов основного состава с различной степенью дискордантности получен позднерифейский возраст 877±29 млн лет [1].

Для уточнения возраста вулканитов серлигской свиты были выполнены изотопно-геохронологические (U/Pb) исследования цирконов из плагиориодацитов (проба 2218–3). Проба была отобрана вдали от контактов с гранитоидами в точке с координатами 50°46′04′′ с. ш.; 093°38′32′′ в. д. Изотопно-геохронологическое датирование U/Pb (SHRIMP-II) методом проведено в центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург). Проанализировано 10 прозрачных идиоморфных и субидиоморфных призматических кристаллов циркона с секториальной зональностью, по которым получен конкордантный кембрийский возраст 508,2±4,7 млн лет (табл. 2, рис. 5), что соответствует низам среднего кембрия, в лучшем случае границе нижнего и среднего кембрия. Однако поскольку серлигская свита

а



б

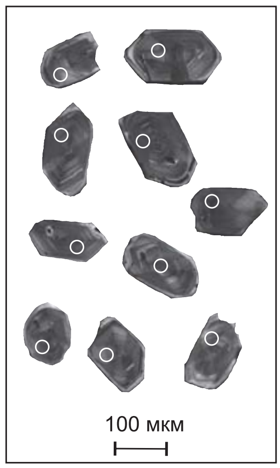


Рис. 5. Результаты U/Pb датирования цирконов из плагиориодацитов серлигской свиты (проба 2218–3): а – диаграмма с конкордией, б – катодолюминесцентные изображения датированных зерен

перекрывается ирбитейской, содержащей фауну археоциат и трилобитов камешковского и санаштыкгольского горизонтов атдабанского яруса, то характеризуемые вулканиты не могли быть сформированы позже второй половины раннего кембрия. К тому же достоверно установлено, что средне-позднекембрийские гранитоиды таннуольского комплекса прорывают отложения серлигской свиты [7]. Тем не менее несмотря на эти противоречия

Таблица 2

серлигской свиты

$^{238}U/^{206}Pb$±%	$^{207}Pb/^{206}Pb$ ±%	$^{238}U/^{206}Pb^*$ ±%	$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*$ ±%	$^{207}Pb^*/^{235}U$ %	$^{206}Pb^*/^{238}U$ ±%	Коэфф. корреляции
12,11±1,5	0,0557±3,4	12,11±1,5	0,0557±3,4	0,634±3,7	0,0826±1,5	0,415
12,47±1,7	0,06±4	12,47±1,7	0,06±4	0,664±4,3	0,0802±1,7	0,391
11,86±1,4	0,0563±2,5	11,86±1,4	0,0563±2,5	0,655±2,9	0,0843±1,4	0,498
12,17±1,6	0,058±2,9	12,17±1,6	0,058±2,9	0,656±3,3	0,0821±1,6	0,491
11,97±1,5	0,0589±3	12,02±1,5	0,0557±4,6	0,638±4,9	0,0832±1,5	0,310
12,24±1,5	0,0582±2,6	12,24±1,5	0,0582±2,6	0,656±3	0,0817±1,5	0,491
12,16±1,5	0,0581±2,8	12,19±1,5	0,056±3,6	0,634±3,9	0,082±1,5	0,389
12,11±1,5	0,0582±2,9	12,11±1,5	0,0582±2,9	0,663±3,3	0,0826±1,5	0,468
12,31±1,4	0,0577±2,4	12,33±1,4	0,0564±2,8	0,631±3,2	0,0811±1,4	0,452
12,39±1,5	0,0591±3,5	12,43±1,5	0,0566±4,8	0,628±5	0,0805±1,5	0,299

общего и радиогенного свинца соответственно. Ошибка калибровки составила 0,61 %. Общий Pb скорректирован

Таблица 3

Sm/Nd изотопные данные для вулканогенных пород серлигской свиты

Проба	Sm	Nd	$^{147}Sm/^{144}Nd$, ±0,015 %	$^{143}Nd/^{144}Nd$, ±0,002 %	$\varepsilon_{Nd}(t)$	T(DM$_1$)	T(DM$_2$)	Возраст
	г/т					млрд лет		
2128–6	2,63	9,4	0,16882	0,512832	+5,7	0,95	0,76	0,53
2128–5	5,47	20,87	0,15837	0,512842	+6,6	0,73	0,67	0,53
4009	6,88	28,08	0,14811	0,512773	+5,9	0,78	0,73	0,53
2140–7	6,67	22,98	0,17538	0,512960	+7,7	0,58	0,55	0,53
2191–4	3,25	16,17	0,12147	0,512705	+6,4	0,67	0,68	0,53
2218–3	8,06	36,02	0,13535	0,512783	+7,0	0,63	0,63	0,53

Примечания. Значения $\varepsilon_{Nd}(t)$ – первичные, пересчитанные на возраст, указанный в последнем столбце.

можно утверждать, что формирование серлигской свиты происходило в кембрии, скорее всего в нижнем, но никак не в рифее.

Для оценки источников магмообразующих субстратов были проведены изотопно-геохимические исследования и получены Sm/Nd характеристики для базальтов (проба 2128–6), плагиодацитов (пробы 2185–5, 4009) и плагиориодацитов (2191–4, 2218–3, 2140–7) свиты «по валу». Исследования выполнены в центре изотопных исследований ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) и ЦКП «Геоаналитик» УрО РАН (Екатеринбург). Результаты Sm/Nd изотопных исследований (табл. 3) показывают, что вулканиты характеризуются высоким первичным отношением $^{143}Nd/^{144}Nd$, а значения εNd(T) варьируют от 5,7 до 7,7. Такие изотопно-геохимические параметры указывают на преобладание мантийного субстрата при формировании расплавов. Модельный возраст источника вулканитов серлигской свиты, т. е. предполагаемое время отделения их протолита от деплетированной мантии, отвечает позднему рифею – венду (T_{Nd}(DM-2st) от 0,55 до 0,76 млрд лет) и тем самым задает нижний возрастной предел для исследованных пород.

Выводы

Серлигская свита мощностью более 3,5 км представляет собой дифференцированную серию от толеитовых базальтов до плагиориолитов. Для нижней части разреза характерной особенностью является парагенезис покровных фаций с прослоями туфопесчаников (туфогравелитов, туфоконгломератов) и осадочных карбонатных пород с фауной. В верхней части разреза окраска вулканитов сменяется с зеленоцветной на красноцветную, что свидетельствует о смене обстановки вулканизма с субаквальной, мелководно-морской на субаэральную.

Характерные для нижней части разреза серлигской свиты вулканиты основного состава формировались в обстановке незрелой океанической островной дуги. На заключительном этапе формирования свиты (верхняя часть ее разреза, представленная преимущественно вулканитами кислого состава) наряду с островодужными появляются вулканиты с типичными внутриплитными геохимическими характеристиками, главным образом за счет обогащения Rb и Ba. Это может быть признаком затухания островодужного вулканизма, что, видимо, обусловлено как увеличением роли плюмового магматизма, характерного для стадии развития региона, предшествующей аккреционному этапу [15], так и прогрессивным вовлечением в источник терригенного материала.

Раннекембрийское время формирования серлигской свиты устанавливается по комплексному анализу результатов палеонтологических исследований и U/Pb датирования цирконов. Значения εNd (εNd(T) от 5,7 до 7,7) указывают на мантийную природу источника магм с модельным возрастом 550–760 млн лет (поздний рифей – венд).

Настоящее исследование на примере серлигской свиты Таннуольского террейна выявило проблему корреляции раннепалеозойских и позднепротерозойских островодужных ассоциаций Тувы в целом. Существующие схемы корреляции этих образований для Тувы основаны на биостратиграфических данных и далеко не всегда подтверждены методами изотопно-геохронологических исследований. Для расшифровки тектонической структуры рассматриваемого региона и реконструкции разновозрастных этапов островодужного магматизма необходим статистический прирост данных изотопного U/Pb датирования позднепротерозойских и раннекембрийских вулканитов, в том числе серлигской свиты и ее фациальных возрастных аналогов. Изотопное датирование необходимо сопровождать определением геохимических и Sm/Nd изотопно-геохимических характеристик вулканитов. Накопление такого рода информации позволит провести корректное сопоставление полученных данных с материалами биостратиграфии в пределах отдельно взятых террейнов, а также корреляцию одновозрастных, с инструментально обоснованными возрастами, ассоциаций пород смежных террейнов.

Авторы признательны рецензенту к. г.-м. н. В. М. Исакову за дискуссию и ценные замечания, которые, несомненно, улучшили статью.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках грантов 18–35–20025, 19–05–00145 и государственного задания ИГМ СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Александровский А. С.** Государственная геологическая карта РФ 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист М-46-Кызыл. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2008.

2. **Бабин Г. А., Шокальский С. П.** Основные черты геологического строения Алтае-Саянской складчатой области (тектоническое районирование, стратиграфия, магматизм, история геологического развития) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2017. – № 6с. – С. 19–37.

3. **Безруков О. А., Гинцингер А. Б.** Строение и корреляция верхнедокембрийских карбонатных и терригенно-карбонатных отложений Западного Прихубсугулья Монголии и Тувы // Стратиграфия и палеонтология докембрия и фанерозоя Сибири. Сб. науч. тр. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1990. – С. 20–29.

4. **Биостратиграфия** нижнего кембрия Саяно-Алтайской складчатой области / Л. Н. Репина, В. В. Хоментовский, И. Т. Журавлева, А. Ю. Розанов. – М.: Наука, 1964. – 364 с.

5. **Бухаров Н. С.** О стратиграфии отложений нижнего кембрия в Восточной Туве // Материалы по геологии Тувинской АССР. Вып. 4. – Кызыл: Тув. кн. изд-во, 1979. – С. 39–52.

6. **Васильев В. И., Волков В. В., Вальдю В. В.** Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Западно-Саянская. Лист M-46-IX. Объяснительная записка. – М.: Недра, 1966. – 80 с.

7. **Ветров Е. В., Черных А. И., Бабин Г. А.** Раннепалеозойский гранитоидный магматизм Восточно-Таннуольского сектора Тувинского магматического пояса: геодинамическая позиция, возраст и металлогения // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60, № 5. – С. 641–665.

8. **Гинцингер А. Б., Винкман М. К.** Верхний докембрий хр. Восточный Танну-Ола (Тува) // Актуальные вопросы геологии докембрия Сибири. – Новосибирск, 1981. – С. 16–28. – (Тр. СНИИГГиМС; вып. 290).

9. **Гинцингер А. Б., Винкман М. К.** Новые данные по стратиграфии верхнего докембрия Тувы // Материалы по стратиграфии и палеонтологии Сибири. – Новосибирск, 1974. – С. 5–13. – (Тр. СНИИГГиМС; вып. 192).

10. **Гордиенко И. В., Метелкин Д. В.** Эволюция субдукционного магматизма на неопротерозойской и венд-раннепалеозойской активных окраинах палеоазиатского океана // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 1. – С. 91–108

11. **Кузьмичев А. Б.** Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы. – М.: ПРОБЕЛ-2000, 2004. – 192 с.

12. **Лукашев Г. Н., Антонова О. И.** Геологическая карта СССР м-ба 1:200 000. Серия Западно-Саянская. Лист M-46-X. Объяснительная записка. – М.: ГНТИ, 1961. – 113 с.

13. **Тектономагматическая** эволюция структурно-вещественных комплексов Таннуольской зоны Тувы в позднем венде – раннем кембрии / А. А. Монгуш, В. И. Лебедев, В. П. Ковач и др. // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 5. – С. 649–665.

14. **Черных А. И., Ветров Е. В., Пихутин Е. А.** Геологическое строение и металлогения западной части Восточно-Таннуольского рудного района (Республика Тыва) на основе новых геохимических и изотопно-геохронологических данных // Отечественная геология. – 2017. – № 2. – С. 4–21

15. **Ярмолюк В. В., Кузьмин М. И., Воронцов А. А.** Конвергентные границы западно-тихоокеанского типа и их роль в формировании Центрально-Азиатского складчатого пояса // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 12. – С. 1831–1850.

16. **A geochemical** classification for granitic rocks / B. R. Frost, C. G. Barnes, W. J. Collins, et al. // J. Petrol. – 2001. – Vol. 42. – P. 1771–1802.

17. **Cabanis B., Lecolle M.** Le diagramme La/10–Y/15–Nb/8: un outil pour la discrimination des séries volcancques et la évidence des processus de mélange

et/ou de contamination crustale // C. R. Acad. Sci. Série 2. – 1989. – Vol. 309 (20). – P. 2023–2029.

18. **Harris N. B. W., Pearse J. A., Tindle A. G.** Geochemical characteristics of collision-zone magmatism / Eds. M. P. Cowards, A. C. Ries // Collisions tectonics. Geological Society. – London: Spec. Publ. – 1986. – Vol. 19. – P. 67–81.

19. **Miyashiro A.** Volcanic rock series in island arcs and active continental margins // American journal of science. – 1974. – Vol. 274. – P. 231–355

20. **Pearce J. A.** Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins / eds. C. J. Hawkesworth, M. J. Norry // Continental basalts and mantle xenoliths. – Shiva: Natwich, 1983. – P. 230–249.

21. **Pearce J. A., Harris N. B. W., Tindle A. G.** Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // J. Petrol. – 1984. – Vol. 25. – P. 956–983.

22. **Sun S.-S., McDonough W. F.** Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Geological Society. – London: Spec. Publ. – 1989. – Vol. 42. – P. 313–345.

REFERENCES

1. Aleksandrovskiy A.S. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta RF 1:1000000 (tretye pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List M-46-Kyzyl* [State geological map of RF, 1:1000000 (third generation). Series Altai-Sayany. Sheet M-46-Kyzyl]. Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 2008. (In Russ.).

2. Babin G.A., Shokalskiy S.P. [Main features of the Altai-Sayany folded region structure (tectonic zoning, stratigraphy, magmatism, history of geological development)]. *Geologiya i mineralno-syryevye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2017, no. 6s, pp. 19–37. (In Russ.).

3. Bezrukov O.A., Gintsinger A.B. [Structure and correlation of Upper Cambrian carbonaceous and terrigenous-carbonaceous deposits of the West Cis-Khubsugul region of Mongolia and Tuva] *Stratigrafiya i paleontologiya dokembriya i fanerozoya Sibiri* [Stratigraphy and paleontology of the pre-Cambrian and Phanerozoic]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1990, pp. 20–29. (In Russ.).

4. Repina L.N., Khomentovskiy V.V., Zhuravleva I.T., Rozanov A. Yu. *Biostratigrafiya nizhnego kembriya Sayano-Altayskoy skladchatoy oblasti* [Biostratigraphy of the Lower Cambrian in the Sayany-Altai folded area]. Moscow, Nauka Publ., 1964. 364 p.(In Russ.).

5. Bukharov N.S. [On stratigraphy of Lower Cambrian deposits in East Tuva]. *Materialy po geologii Tuvinskoy ASSR. Vyp. 4* [Proceeding on geology of the Tuva ASSR. Issue 4). Kyzyl, Tuva Publ. house, 1979, pp. 39–52. (In Russ.).

6. Vasilyev V.I., Volkov V.V., Valdyu V.V. *Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1:200000. Seriya Zapadno-Sayanskaya. List M-46-IX. Ob"yasnitel'naya zapiska* [USSR geological map with a scale of 1: 200 000. Series West-Sayany. Sheet M-46–9. Explanatory note]. Moscow, Nedra Publ., 1960. 80 p. (In Russ.).

7. Vetrov E.V., Chernykh A.I., Babin G.A. Early Paleozoic granitoid magmatism in the East Tannu-Ola sector of the Tuvinian magmatic belt: Geodynamic position, age, and metallogeny. *Russian Geology and Geophysics*, 2019, vol. 60, no. 5, pp. 492–513.

8. Gintsinger A.B., Vinkman M.K. [The Upper Pre-Cambrian of the Eastern Tannu-Ola Ridge]. *Aktualnye voprosy geologii dokembriya Sibiri* [Current questions of the Pre-Cambrian geology of Siberia]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., vol. 290, pp. 16–28. (In Russ.).

9. Gintsinger A.B., Vinkman M.K. [New data on the Upper Pre-Cambrian stratigraphy of Tuva]. *Materialy po stratigrafii i paleontologii Sibiri* [Materials on stratigraphy and paleontology of Siberia]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1974, pp. 5–13. (In Russ.).

10. Gordienko I.V., Metelkin D.V. The evolution of the subduction zone magmatism of the Neoproterozoic and Early Paleozoic active margins of the Paleoasian Ocean. *Russian Geology and Geophysics*, 2016, vol. 57, no. 1, pp. 69–81.

11. Kuzmichev A.B. *Tektonicheskaya istoriya Tuvino-Mongolskogo massiva: rannebaykalskiy, pozdnebaykalskiy i rannekaledonskiy etapy* [Tectonic history of the Tuva–Mongolian massif: Early Baykalian, Late Baykalian, and Early Caledonian Stages]. Moscow, PROBEL-2000 Publ., 2004. 192 p. (In Russ.).

12. Lukashev G.N., Antonova O.I. *Geologicheskaya karta SSSR masshtaba 1: 200 000. Seriya Zapadno-Sayanskaya. List M-46-IX* [USSR geological map with a scale of 1: 200 000. Series West-Sayany. Sheet M-46–9]. Moscow, GNTI [SSTI] Publ., 1961. 113 p.(In Russ.).

13. Mongush A.A., Lebedev V.I., Kovach V.P., et al. The tectonomagmatic evolution of structure-lithologic complexes of the Tannu-Ola zone, Tuva in the Late Vendian – Early Cambrian (from geochemical, Nd isotope, and geochronological data). *Russian Geology and Geophysics*, 2011, vol. 52, no. 5, pp. 503–516.

14. Chernykh A.I., Vetrov E.V., Pikhutin E.A. [Geological structure and metallogeny of the East Tannu-Ola ore district (the Republic of Tuva) based on new geochemical and isotope-geochronological data]. *Otechestvennaya geologiya*, 2017, no. 2, pp. 4–21. (In Russ.).

15. Yarmolyuk V.V., Kuzmin M.I., Vorontsov A.A. West Pacific-type convergent boundaries and their role in the formation of the Central Asian Fold Belt. *Russian Geology and Geophysics*, 2013, vol. 54, no. 12, pp. 1427–1441.

16. Frost B.R., Barnes C.G., Collins W.J., et al. A geochemical classification for granitic rocks. *J. Petrol*, 2001, vol. 42, pp. 1771–1802.

17. Cabanis B., Lecolle M. Le diagramme La/10–Y/15–Nb/8: un outil pour la discrimination des séries volcaniques et la évidence des processus de mélange et/ou de contamination crustale. *C. R. Acad. Sci. Serie 2*, 1989, vol. 309(20), pp. 2023–2029.

18. Harris N.B.W., Pearse J.A., Tindle A.G. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism.

Collisions tectonics. Geological Society. London, Spec. Publ., 1986, vol. 19, pp. 67–81.

19. Miyashiro A. Volcanic rock sries in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, 1974, vol. 274, pp. 231–355.

20. Pearce J.A. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. *Continental basalts and mantle xenoliths*. Shiva, Natwich, 1983, pp. 230–249.

21. Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol*., 1984, vol. 25, pp. 956–983.

22. Sun S.-S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society*. London, Spec. Publ., 1989, vol. 42, pp. 313–345.

УДК 330.43:553.9.04

ПОДХОДЫ К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ ТРАНСФОРМАЦИИ «НОВЫХ» ЗНАНИЙ В КОММЕРЧЕСКИЕ ЗАПАСЫ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Д. В. Миляев[1,2], Д. И. Душенин[1,2]

[1]Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, Новосибирск, Россия; [2]Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

Рассматриваются особенности развития экономики знаний в нефтегазовом секторе. Предлагается архитектура математической модели генерации и трансформации «новых» знаний об углеводородных объектах в коммерческие запасы. Описываются методы формирования требований к искомым знаниям и предлагается гибрид агентной модели с байесовскими сетями для поиска условий достижения заданных критериев. Прикладное значение работы заключается в выработке подходов к стимулированию перехода некоммерческих природных ресурсов в запасы промышленных категорий.

Ключевые слова*: экономика знаний, инновации, новые технологии, трудноизвлекаемые запасы, математическое моделирование, агентная модель, байесовская сеть, рентабельность, коммерческие запасы.*

«NEW» KNOWLEDGES INTO COMMERCIAL RESERVES OF MINERAL RESOURCES

D. V. Milyaev[1,2], D. I. Dushenin[1,2]

[1]Institute of Economics and Industrial Engineering of SB RAS, Novosibirsk, Russia; [2]Siberian Research Insitute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

The article considers features of development of the knowledge economy in the oil and gas sector. The architecture of mathematical model for the generation and transformation of “new” knowledges about hydrocarbon targets into commercial reserves is proposed. Methods of forming the requirements for the desired knowledge are described and a hybrid of the agent-based model with Bayesian networks is suggested to search for conditions for achieving the specified criteria. The applied significance of work is to develop approaches to stimulate the transition of nonprofit natural resources to reserves of recoverable categories.

Keywords: *knowledge economy, innovations, new technologies, hard-to-recover reserves, mathematical modeling, agent model, Bayesian network, profitability, commercial reserves.*

DOI 10.20403/2078-0575-2020-1-95-100

Явление экономики знаний не только пассивно наблюдаемое со стороны, но и управляемое. Умение и возможность воздействовать на генерацию знаний позволяет осмысленно стимулировать технологический прогресс [12].

Правильное представление об аспектах взаимодействия всех составляющих процесса получения знаний в нефтегазовых проектах позволит описать это явление математическим языком и, как следствие, численно оценить влияние основных факторов на скорость развития новых технологий освоения углеводородных ресурсов. В результате должна сформироваться модель управляемого воздействия на прирост коммерческих запасов полезных ископаемых за счет накопления, обработки и анализа информации.

Механизмы генерации знаний

Генерация новых знаний – естественная форма существования человеческого ресурса, обусловливающая формирование национальной инновационной системы [7]. Человеческий ресурс выступает в ней в качестве элемента и поддерживает ее жизнедеятельность путем генерации новых знаний. Такой механизм обеспечивает непрерывность саморазвития системы за счет устойчивого функционирования и повышения внутрисистемного качества. Следствием является трансформация новых знаний в инновации, которые постепенно проникают во все сферы жизнедеятельности. Эффективность данных процессов зависит в большей степени не от количества новых знаний, а от их слаженного взаимодействия в различных направлениях внедрения. При этом ввиду процесса диффузии инноваций [17] возникает синергетический эффект.

На практике выделяются два основных направления формирования и распространения новых знаний в нефтегазовом секторе [4]. Первое заключается в совершенствовании технологий поиска, разведки и добычи углеводородного сырья; второе – в поощрении инициативы компаний, которые принимают на себя риски практической реализации проектов, ранее считавшихся неэффективными. Стимулирующий фактор для первого направления – качественное взаимодействие участников процесса (недропользователей, государства и научных центров), которые, объединяя усилия, создают благоприятные условия для разработки, экспертизы и последующего внедрения новых технологий в производство. Второе направление может поддерживаться государством, например, посредством гибкого налогообложения и адаптации системы лицензирования под задачи апробации опытных технологий и освоения трудноизвлекаемых запасов.

Логичным следствием усовершенствования и удешевления технологий становится переход природных ресурсов из категорий непромышленных и нерентабельных в извлекаемые коммерческие запасы. Так, глобальный рост добычи сланцевых нефти и газа, который начался в 2002 г. в США, был связан с развитием технологии бурения горизонтальных скважин, многостадийным гидроразрывом и закачкой пропантов [2]. Разработка методов, позволяющих снизить себестоимость освоения сланцевых формаций, в России также является одной из приоритетных задач. Наибольшие перспективы в данном направлении связывают с баженовской свитой Западной Сибири, куонамской свитой Восточной Сибири и доманиковской свитой в Урало-Поволжье. В настоящее время технология их рентабельной добычи еще не получена, но предприняты попытки оценить максимально допустимый уровень вложений в ее промышленное внедрение [5].

В будущем развитие технологий, вероятно, сделает прибыльным освоение других в настоящее время нетрадиционных объектов углеводородного сырья. В ближайшей перспективе – промышленная добыча газовых гидратов [8] и освоение уникального по объему углеводородных ресурсов шельфа Арктики, которому препятствуют как технологические ограничения, так и экстремальные климатические условия в совокупности с отсутствием инфраструктуры [3].

Вполне естественно, что очередность освоения углеводородных объектов подчиняется принципу «от простого к сложному». Сначала в промышленную разработку вводятся наименее трудные по геологическому строению объекты, работа с которыми связана с меньшими рисками. По мере истощения «простых» ресурсов добывающие компании вынуждены развивать технологии и инициировать проекты по эксплуатации все более сложных скоплений нефти и газа. Этот процесс может поддаваться стимулированию и, по мнению авторов, должен быть описан математическим языком.

Данная задача условно разделяется на два блока:

– разработка инструментальных методов поиска критериев накопления знаний, необходимых для успешного освоения объекта;

– создание математической модели трансформации «новых» знаний в коммерческие запасы.

Решение первой задачи позволит сформулировать требования к новым объектам, технологиям и формам взаимодействия субъектов, а второй – наметить пути достижения обозначенных требований.

Формирование критериев для управляемого накопления знаний

Для поиска критериев, предъявляемых к новым знаниям и процессу их накопления, требуется:

– подготовка информационной базы, включая сбор и систематизацию материалов, характеризующих различные типы углеводородных ресурсов (в том числе нетрадиционных), технологий и допустимых организационно-правовых механизмов;

– создание производственно-инвестиционной модели нефтегазового проекта, осуществляющей прогноз деятельности по изучению и промышленному освоению углеводородного объекта, с последующей оценкой эффективности;

– внедрение в модель алгоритмов порогового анализа, определяющих требования к внедряемым инновациям (технологическим и организационно-правовым решениям).

Нетривиальность работы с геологическими данными обусловлена рядом факторов, таких как ограниченность, достоверность, точность, неопределенность и информативность, а также спецификой администрирования оборота геологической информации в России. Поэтому подготовка информационной основы исследования в российских реалиях представляет собой научную проблему, изучению которой мы считаем необходимым посвятить отдельный труд, а в рамках данной статьи отметим лишь основные аспекты, влияющие на процесс статистической обработки данных.

Корректная подготовка исходной информации должна опираться на статистику поисков и добычи углеводородного сырья на территории, близкой к исследуемой по географическим и геологическим признакам. Значения геологических характеристик, поступающие для дальнейшего расчета, могут подбираться либо посредством метода аналогий с уже разрабатываемыми месторождениями, либо с помощью методов вероятностно-статистического анализа и многопараметрической регрессии, изложенных, например, в работах [1, 13].

Главными трудностями начальных этапов нефтегазовых проектов являются неопределенности природного характера: глубина залегания, эффективная толщина, фильтрационно-емкостные свойства коллектора, физико-химические свойства углеводородов и т. д. С математической точки зрения это означает, что практически любая численная характеристика прогнозной углеводородной залежи описывается не одним фиксированным значением, а диапазоном, границы которого сужаются по мере изучения структуры. И, соответственно, чем сложнее объект, тем шире начальные диапазоны.

Производственно-инвестиционная модель должна последовательно решать следующие задачи [14]:

– прогноз геолого-разведочных работ (ГРР) и прироста запасов;

– прогноз подготовки объекта промысла к эксплуатации;

– прогноз технологических показателей разработки;

– прогноз затрат и показателей экономической эффективности.

Первая из перечисленных задач заключается в планировании действий, необходимых для перевода углеводородных ресурсов в категорию разведанных запасов, и должна осуществляться с учетом продолжительности, сезонности и стадийности работ[1]. Для объектов со сложным геологическим строением важно учитывать опыт подобных проектов, а также повышенные геологические риски, обусловливающие необходимость более детального изучения. Распространенный в нефтегазовых компаниях методический подход к построению ГРР раскрыт в [15].

Моделирование процесса подготовки месторождения к эксплуатации регламентировано правилами проектирования обустройства промысла [9] и предполагает строительство всех основных объектов обустройства (дожимной насосной станции, установки подготовки и центрального пункта сбора нефти, газотурбинной электростанции и т. д.). Тем не менее при проведении оценки эффективности проектов по освоению недр на ранних этапах их изучения разумно ограничиться приемлемым уровнем детализации и пренебречь несущественными деталями.

Моделирование разработки углеводородных месторождений заключается в динамическом прогнозе технологического процесса на промысле: изменение с течением времени объема добытого сырья, пластового давления, физико-химических свойств добываемой продукции, количества пробуренных скважин и т. д. При прогнозе объема добычи важно учитывать уникальность сочетания геолого-промысловых характеристик, поэтому в качестве алгоритмической основы лучше всего подходят основные уравнения геомеханики, подземной гидро- и газовой динамики (различные интерпретации закона Дарси) и уравнение материального баланса [10]. С учетом высокой степени неопределенности допустимы некоторые обобщения. Например, для большинства случаев прогнозную залежь можно представлять как геометрический объект правильной формы с однородными фильтрационно-емкостными свойствами по всему объему.

Вместе с тем необходимо учитывать конечную цель создания данной модели – прогноз разработки месторождений инновационными методами. В связи с этим ее алгоритмы должны позволять исследователю искусственно менять эффективность добычи относительно различных аспектов процесса: увеличивать нефтеотдачу пласта и коэффициент извлечения, снижать темпы падения пластового давления и обводненность добываемого сырья, повышать результативность геолого-технических мероприятий и т. д.

[1]Приложение 1 к Приказу МПР России от 7 февраля 2001 г. № 126 «Временное положение об этапах и стадиях геолого-разведочных работ на нефть и газ».

Корректный прогноз затратной части проекта изучения и освоения недр должен проводиться исходя из производственной отчетности добывающих предприятий по смежным участкам с идентичными геолого-промысловыми характеристиками. При этом необходимо учитывать состояние инфраструктуры, дальность заброски грузов и персонала, а также проанализировать возможные направления и способы транспортировки добываемого сырья для выбора оптимальных, так как данные аспекты в совокупности могут обусловливать значительную разницу в себестоимости продукции. Так, в [18] представлен методический подход к пониманию структуры затрат на добычу нефти и проведен анализ их изменений во времени.

Прогноз показателей экономической эффективности и финансового анализа следует осуществлять согласно общепринятому подходу [21] с адаптацией к регулятивным особенностям недропользования в России. В то же время модель должна допускать применение различных организационно-правовых форм взаимодействия субъектов, в том числе создание совместных предприятий, привлечение инвестиций и технологий, вариативность налоговой нагрузки.

В качестве результирующих показателей можно рассматривать норму доходности, индекс доходности инвестиций, вероятность нерентабельности проекта, объем рискового капитала и чистый дисконтированный доход.

После реализации производственно-инвестиционной модели необходимо перейти к обратной задаче: определить, какими мерами воздействия возможно добиться заданного результата. Под результатом в данном контексте может пониматься, например, достижение установленного коэффициента извлечения углеводородов, удержание темпа отбора, соблюдение лимитов финансирования, срок окупаемости проекта, внутренняя норма рентабельности или комбинация нескольких требований. Другими словами, необходимо определить соотношения характеристик исходных данных (геологических, технологических, экономических), при которых изучение и освоение углеводородного объекта будет удовлетворять заданному условию на результат [16].

Применяемая к подобным задачам процедура поиска решений называется пороговым анализом. Он заключается в одновременном варьировании ключевых показателей проекта и поиске их сочетаний, обеспечивающих заданный результат. Самый простой способ решения такой задачи – метод перебора. Но когда количество варьируемых параметров достигает десяти и более, процесс поиска решений становится недопустимо длительным. В качестве альтернативы авторы предлагают воспользоваться монотонной зависимостью эффективности нефтегазовых проектов от некоторых исходных показателей и исключить значительную часть возможных сочетаний варьируемых параметров уже в начале расчета [6].

Подводя итог, отметим, что практическое применение перечисленных подходов позволит сформировать перечень конкретных требований к освоению различных типов углеводородных объектов.

Подходы к моделированию трансформации «новых» знаний в коммерческие запасы

В качестве математического аппарата, моделирующего взаимосвязь генерации новых знаний с приростом новых коммерческих запасов, предлагается использовать агентную модель. Агентное моделирование имитирует взаимодействие множества субъектов, каждый из которых обладает уникальными характеристиками, такими как обеспеченность финансовыми ресурсами, технологическая и техническая оснащенность, набор прав и обязательств, способность влиять на те или иные события и состояние изучаемой системы.

Адекватность подхода подтверждается примерами практического использования подобной методики для решения задач, близких к поставленной в данной статье. В частности, агентные модели строятся для прогнозирования поведения связанных индивидуумов: предсказания последствий политических решений [19] или выбора наиболее оптимальных для технологического роста вариантов взаимодействия регионов и центров развития новых технологий [20]. Неоднородность агентов затрудняет прогноз их совместного поведения и, как следствие, приводит к неоптимальности действий каждого в отдельности. Ситуация осложняется экзистенциальной и технологической неопределенностью: участникам процесса заранее неизвестно, какие именно действия необходимо совершить, чтобы получить желаемый результат.

Существуют примеры успешного применения агентного моделирования совместно с другими математическими инструментами. Например, поведение агентов можно прогнозировать с помощью байесовских сетей [11], представляющих собой взвешенные ациклические ориентированные графы. Вершины такого графа представляют собой переменные, описывающие состояние агентов, а ребра между вершинами – вероятностную зависимость между ними, численная характеристика которой определяет веса ребер.

В архитектуре разрабатываемой нами модели в качестве агентов выступят предприятия нефтегазового сектора, которые будут делиться на группы по принадлежности к определенному типу:

– вертикально интегрированные холдинги,
– транснациональные корпорации,
– мелкие и средние добывающие предприятия,
– научно-технические центры,
– научно-исследовательские институты,
– сервисные компании.

В процессе моделирования разработки новых технологий освоения очередного типа углеводородных ресурсов исследователь инициирует взаимодействие различных видов агентов, в результате чего будут образованы технологические кластеры. Прогноз результата взаимодействия внутри каждого кластера предлагается осуществлять с помощью байесовской сети.

Структура байесовских сетей строится по принципу «дерева» с единственной точкой в качестве входа и набором вершин-состояний в качестве возможных выходов:

– корень дерева, соответствующий исходному уровню знаний внутри кластера;

– промежуточные узлы дерева, характеризующие вовлеченность той или иной компании в технологический кластер либо выборочный результат взаимодействия предприятий внутри кластера; результатом в нашем случае может являться удешевление технологий поиска и добычи, повышение дебитов добывающих скважин, увеличение коэффициентов извлечения нефти на определенную величину и т. д.;

– концевые узлы дерева, описывающие возможные конечные результаты разработки новых технологий внутри кластера.

Сумма весов всех ребер, выходящих из вершины, должна быть равна 1, так как вес каждого ребра соответствует вероятности перехода между вершинами, которые он соединяет. Конкретные значения весов ребер могут быть приняты на основе статистики либо экспертно.

Таким образом, с помощью байесовских сетей планируется получить конечную характеристику состояния каждого агента в модели и, как следствие, общий результат деятельности всех агентов.

Подобный подход позволит учесть вероятностный характер получения новых технологий поисков и добычи сырья в результате различных форм взаимодействия между участниками нефтегазовой отрасли и (совместно с вышеописанными инструментальными методами) определить пути достижения требований к рентабельному освоению различных типов углеводородных ресурсов.

Выводы

Управление инновациями в целях рентабельного освоения проблемных объектов углеводородного сырья подразумевает симбиоз аналитических и численных методов, один из вариантов которого изложен в статье.

Предлагается начать с вычисления критериев управляемой генерации знаний, которые обеспечат искомый результат. Это может быть реализовано посредством моделирования производственных и финансовых показателей проекта, установки ограничений на параметры модели и расчета пороговых значений исходных характеристик. Прикладной результат заключается в требованиях к изучаемым геологическим объектам, потенциально возможным технологиям их поиска и разработки, формам организационно-правового взаимодействия участников процесса.

Вторым шагом авторы видят поиск условий достижения полученных критериев. Учитывая сложность формализации перехода от знаний к реальному производству и возникновению сырьевого актива, в качестве математического аппарата предложен гибрид агентной модели с байесовскими сетями. Сопоставляя движение по ветвям графа с вероятностью достижения поставленных целей, можно оценить целесообразность тех или иных мер направленного воздействия на развитие экономики знаний в нефтегазовом секторе.

Потенциал совершенствования изложенного подхода заключается в формальном описании и программировании математической модели, конкретизации процедур и алгоритмов под задачу освоения определенной категории трудноизвлекаемых ресурсов.

Работа выполнена в Институте экономики и организации промышленного производства СО РАН при поддержке Российского научного фонда (РНФ), грант № 19–18–00170.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Демьянов В. В., Савельева Е. А.** Геостатистика: теория и практика. – М.: Наука, 2010. – 327 с.

2. **Дмитриевский А. Н.**, **Высоцкий В. И.** Сланцевый газ – новый вектор развития мирового рынка углеводородного сырья // Газовая промышленность. – 2010. – Т. 8. – С. 44–47.

3. **Конторович А. Э.** Нефть и газ российской Арктики: история освоения в XX веке, ресурсы, стратегия на XXI век // Наука из первых рук. – 2015. – № 61 (1). – С. 46–65.

4. **Крюков В. А.** Экономика знаний и минерально-сырьевой сектор – особенности взаимодействия в современных условиях // Вестн. Омского ун-та. Сер. Экономика. – 2016. – № 1 – С. 52–59

5. **Миляев Д. В.**, **Савельева А. Д.** Оценка перспективности освоения сланцевой нефти куонамской свиты Восточной Сибири в современных условиях // Вестн. ТГУ. Экономика. – 2017. – № 40. – С. 68–82.

6. **Миляев Д. В.**, **Душенин Д. И.**, **Киданова О. А.** Эффект накопления знаний при определении критериев рентабельности сырьевых проектов // Мир экономики и управления. – 2018. – Т. 18, № 1. – С. 54–69.

7. **Мишулин Г. М.**, **Таранухин Д. С.** Теоретико-методологические подходы к системообразованию в инновационном процессе // Вестник Адыгейского гос. ун-та. Сер. 5. Экономика. – 2011. – № 4. – С. 204–209.

8. **Обзор** потенциальных возможностей энергоснабжения посредством использования газогидратов для Японии / А. В. Пантелеева, К. И. Кульчицкая, А. К. Иванова и др. // Вестник евразийской науки. – 2018. – Т. 10, № 6. – С. 1–7.

9. **Ситенков В. Т.** Проектирование обустройства нефтяных месторождений. – Нижневартовск: Самиздат, 2012. – 457 с.

10. **Ahmed T., McKinney P.** Advanced reservoir engineering. – Elsevier, 2011. – 424 p. – Available at: https://books.google.ru/books/about/Advanced_Reservoir_Engineering.html?id=UZ7w8hXvRbMC redir_esc=y.

11. **Bayesian** networks for spatial learning: a workflow on using limited survey data for intelligent learning in spatial agent-based models / S. A. Abdulkareem, Y. T. Mustafa, E. W. Augustijn, T. Filatova // Geoinformatica. – 2019. – Vol. 23, no. 2. – P. 243–268.

12. **Cooke P., Leydesdorff L.** Regional development in the knowledge-based economy: The construction of advantage // The journal of technology transfer. – 2006. – Vol. 31, no. 1. – P. 5–15.

13. **Dubrule O.** Geostatistics in petroleum geology // AAPG. – 1998. – No. 38. – 250 p.

14. **Dushenin D., Milyaev D.** Automation of the analysis of the efficiency of geological exploration for oil and gas // Geomodel 2018. – Vol. 2018. – P. 1–5.

15. **Leach H.** Exploration technical handbook // TNK-BP, ON Communication. – Moscow, 2006. – 218 p.

16. **Milyaev D.** Risk reduction in hydrocarbons prospecting by evaluation of geological and economic constraints // Geomodel 2018. – Vol. 2018. – P. 1–5.

17. **Rogers E. M.** Diffusion of innovations. – Simon and Schuster, 2010. – 518 p.

18. **Tight** oil market dynamics: Benchmarks, breakeven points, and inelasticities / R. L. Kleinberg, S. Paltsev, C. K. E. Ebinger et al. // Energy Economics. – 2018. – Vol. 70. – P. 70–83.

19. **Vermeulen B.**, **Pyka A.** Agent-based modeling for decision making in economics under uncertainty // Economics: the open-access, open-assessment E-Journal. – 2016. – Vol. 10, no. 2016–6. – P. 1–33.

20. **Vermeulen B.**, **Pyka A.** The role of network topology and the spatial distribution and structure of knowledge in regional innovation policy: a calibrated agent-based model study // Computational Economics. – 2018. – Vol. 52, no. 3. – P. 773–808.

21. **Watsham T. J.**, **Parramore K.** Quantitative methods in finance. – Cengage Learning EMEA, 1997. – 395 p.

REFERENCES

1. Demyanov V.V., Savelyeva E.A. *Geostatistika: teoriya i praktika* [Geostatistics: theory and practice]. Moscow, Nauka Publ., 327 p. (In Russ.).

2. Dmitrievskiy A.N., Vysotskiy V.I. [Shale gas as a new vector of development of global market of raw hydrocarbons]. *Gazovaya promyshlennost – Gas Industry of Russia*, 2010, no. 8, pp. 44–47. (In Russ.).

3. Kontorovich A.E. [Oil and gas of the Russian Arctic: history of development in the XX century, resources, strategy for the XXI century]. *Nauka iz pervykh ruk – Science first hand,* 2015, no. 1 (61), pp. 46–65. (In Russ.).

4. Kryukov V.A. [Knowledge economy and mining sector – eatures of interaction in modern conditions].

Vestnik Omskogo universiteta. Seria Economica, 2016, no. 1, pp. 52–59. (In Russ.).

5. Milyaev D.V., Savelyeva A.D. [Prospectivity assessment of the shale oil development in the Kuonamskaya Formation of East Siberia in present-day conditions]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika*, 2017, no. 40, pp. 68–82. (In Russ.).

6. Milyaev D.V., Dushenin D.I., Kidanova O.A. [Knowledge accumulation effect in case of the profitability criteria definition of a mineral-raw materials projects]. *Mir ekonomiki i upravleniya – World of Economics and Management*, 2018, vol. 18, no. 1, pp. 54–69. (In Russ.).

7. Mishulin G.M., Taranukhin D.S. [Theoretical and methodological approaches to system formation in the innovation process]. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 5: Ekonomika*, 2011, no. 4, pp. 204–209. (In Russ.).

8. Panteleeva A.V., Kulchitskaya K.I., Ivanova A.K., et al. [An overview of the potential for energy supply through the use of gas hydrates for Japan]. *Vestnik evraziyskoy nauki*, 2018, vol. 10, no. 6, pp. 1–7. (In Russ.).

9. Sitenkov V.T. *Proektirovanie obustroystva neftyanykh mestorozhdeniy* [Oilfield construction projecting]. Nizhnevartovsk, SAMIZDAT Publ., 2012. 457 p. (In Russ.).

10. Ahmed T., McKinney P. Advanced reservoir engineering. *Elsevier Publ*., 2011. – 424 p. Available at: https://books.google.ru/books/about/Advanced_Reservoir_Engineering.html?id=UZ7w8hXvRbMCredir_esc=y.

11. Abdulkareem S.A., Mustafa Y.T., Augustijn E.W., Filatova T. Bayesian networks for spatial learning: a workflow on using limited survey data for intelligent learning in spatial agent-based models. *Geoinformatica*, 2019, vol. 23, no. 2, pp. 243–268.

12. Cooke P., Leydesdorff L. Regional development in the knowledge-based economy: the construction of advantage. *The journal of technology Transfer*, 2006, vol. 31, no. 1, pp. 5–15.

13. Dubrule O. Geostatistics in petroleum geology. *AAPG*, 1998, no. 38. 250 p.

14. Dushenin D., Milyaev D. Automation of the analysis of the efficiency of geological exploration for oil and gas. *Geomodel*, 2018, pp. 1–5.

15. Leach H. Exploration technical handbook. *TNK-BP, ON Communication*, Moscow, 2006. 218 p.

16. Milyaev D. Risk reduction in hydrocarbons prospecting by evaluation of geological and economic constraints. *Geomodel 2018*, pp. 1–5.

17. Rogers E.M. Diffusion of innovations. Simon and Schuster, 2010. 518 p.

18. Kleinberg R.L., Paltsev S., Ebinger C.K.E., et al. Tight oil market dynamics: Benchmarks, breakeven points, and inelasticities. *Energy Economics*, 2018, vol. 70, pp. 70–83.

19. Vermeulen B., Pyka A. Agent-based modeling for decision making in economics under uncertainty. *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal*, 2016, vol. 10, no. 2016–6, pp. 1–33.

20. Vermeulen B., Pyka A. The role of network topology and the spatial distribution and structure of knowledge in regional innovation policy: a calibrated agent-based model study. *Computational Economics*, 2018, vol. 52, no. 3, pp. 773–808.

21. Watsham T. J., Parramore K. Quantitative methods in finance. *Cengage Learning EMEA*, 1997. 395 p.

УДК (553.982.041:550.8)(571.14)

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ НЕФТЯНОЙ ПЛАЦДАРМ

Н. П. Запивалов

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

№ 1(41) ♦ 2020

В Северном районе Новосибирской области среди девяти месторождений нефти и газа самое крупное – Верх-Тарское. Наиболее активная добыча на нем велась с 2004 по 2011 гг. В результате сверхинтенсивных методов разработки «здоровье» месторождения было подорвано и добыча стала резко падать. При этом район характеризуется уникальным разнообразием геологических условий. Здесь имеется нефть в юрских песчаниках (Верх-Тарское месторождение), в палеозойских карбонатах (Малоичское месторождение) и даже в межовских гранитах. Автор полагает, что это наиболее перспективный объект для геолого-геофизических наблюдений и натурных исследований, апробации и тиражирования инновационных технологий по всему нефтегазовому производству. Для надежного натурного моделирования чрезвычайно важны исследования на основе непрерывного мониторинга по всем основным параметрам живой флюидо-породной системы; автономные датчики желательно спускать непосредственно в продуктивный пласт. Особый интерес представляет изучение высокотемпературных глубинных очагов. Рядом с Верх-Тарским месторождением в Малоичской скв. 4 на глубине 4500 м. температура составляет 160 °C. Во многих скважинах Западной Сибири температура в нефтяных пластах более 100 °C. Использование глубинного тепла означает получение нового масштабного источника энергии. При содействии государственных органов власти и нефтяных компаний указанный район может стать международным полигоном для решения многих научно-технологических задач с обязательным участием институтов СО РАН.

Ключевые слова: *Новосибирская область, нефтяные месторождения, трудности освоения, нефтяной полигон, интернациональный проект.*

SCIENTIFIC AND TECHNICAL OIL FOOTHOLD

N. P. Zapivalov

A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

Nine oil and gas fields have been discovered in the Severny district of the Novosibirsk region. The Verkh-Tarskoye field is the largest one. The most active mining operations were carried out from 2004 to 2011. As a result of super-intensive recovery techniques the “health” of the Verkh-Tarskoye field was undermined, and the production began to plummet. At that, the district is characterized by unique variety of geological conditions. There is oil in Jurassic sandstones (Verkh-Tarskoye field), in the carbonate Paleozoic (Maloichskoye field) and even in Mezhovskie granites. The author assumes that this is the most promising target for geological and geophysical observations and field studies, testing and duplication of innovative technologies across the entire spectrum of oil and gas production. For reliable field simulation it is extremely important to conduct research based on continuous monitoring of all main parameters of living fluid-rock system; birds are preferably to lower directly into the payout bed. The study of high-temperature deep-seated focuses is of particular interest. The Maloichskaya 4 well (near the Verkh-Tarskoye field) has the temperature of 160°C at the depth of 4500 m. A lot of wells in West Siberia have the temperature of more than 100°C in oil reservoirs. The use of deep heat means getting a new large-scale source of energy. With assistance of state authorities and oil companies, the mentioned district can become an international providing ground for solving a number of scientific and technological problems with obligatory participation of SB RAS institutes.

Keywords: *Novosibirsk region, oil fields, exploration difficulties, oil providing ground, international project.*

DOI 10.20403/2078-0575-2020-1-101-105

Обзорная информация

В Северном районе Новосибирской области открыто девять месторождений нефти и газа (рис. 1). В настоящее время в разработке находятся три месторождения: Малоичское, Восточно-Тарское и самое крупное Верх-Тарское. Последнее открыто новосибирскими геологами в 1970 г., разведка закончена в 1973 г. В ГКЗ СССР защищено в мае 1974 г. с геологическими (балансовыми) запасами 50,1 млн т [2]. Один из его первооткрывателей – академик А. А. Трофимук. Автор был участником и руководителем поисково-разведочных работ, а также первооткрывателем, является почетным гражданином Северного района.

Остальные месторождения недоразведаны и не осваиваются, хотя находятся в лицензионном режиме. Всего в Новосибирской области добыто уже 15 млн т нефти, что оценивается в 5,250 млрд дол. (при условной цене 50 дол. за баррель).

Основная добыча нефти осуществляется на Верх-Тарском месторождении с 2000 г., когда был введен в эксплуатацию нефтепровод до Барабинска протяженностью 182 км, диаметром 325 мм

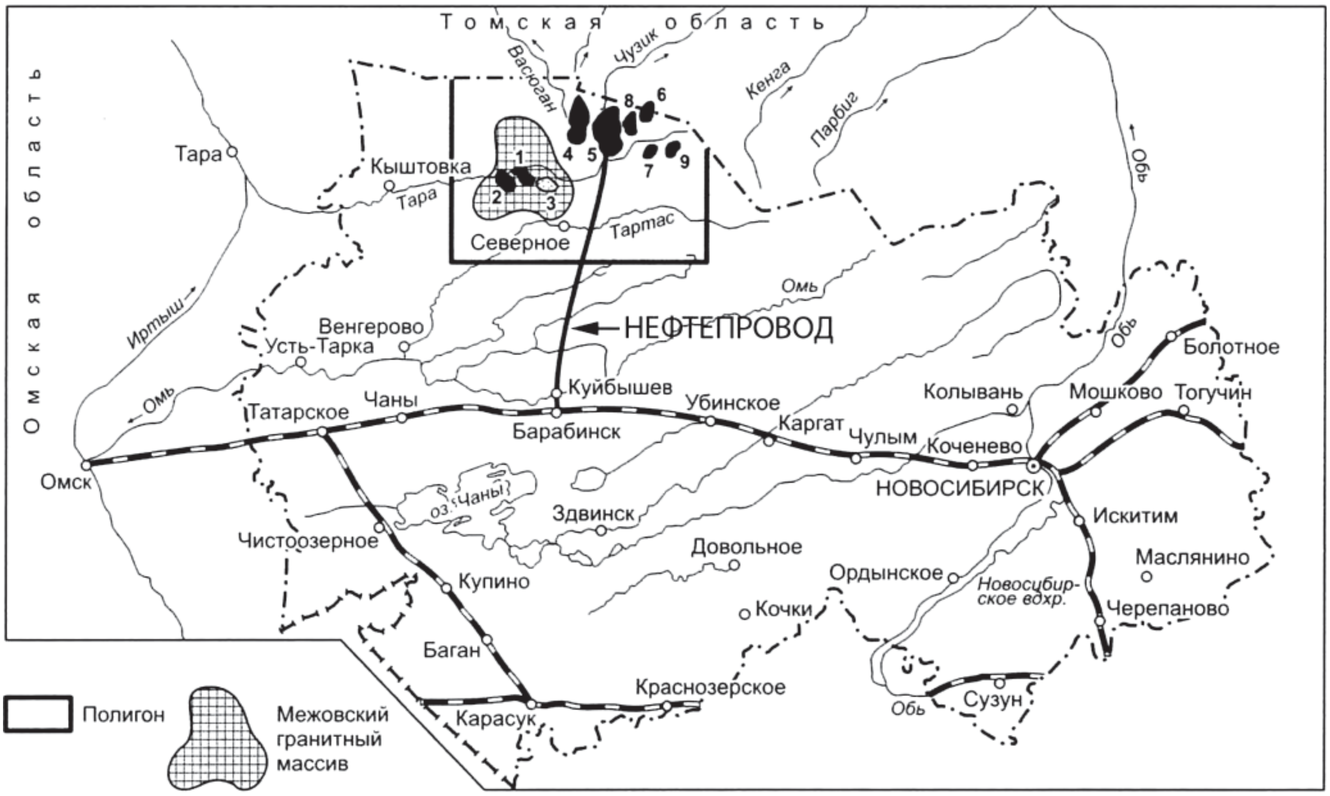


Рис. 1. Схема расположения нефтегазовых месторождений Новосибирской области

Месторождения: 1 – Межовское, 2 – Восточно-Межовское, 3 – Веселовское (газовое), 4 – Малоичское, 5 – Верх-Тарское, 6 – Ракитинское, 7 – Тай-Дасское, 8 – Восточно-Тарское, 9 – Восточное

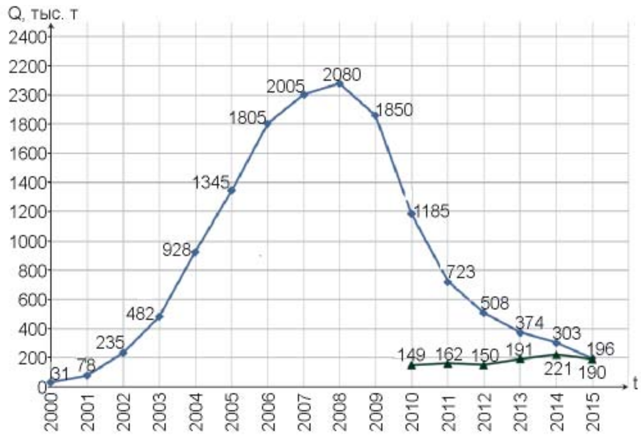


Рис. 2. Динамика добычи нефти на Верх-Тарском месторождении по годам (зеленым цветом показана начавшаяся позднее добыча нефти на Малоичском месторождении, палеозой, глубина 3200 м)

Рис. 3. Инфраструктура Верх-Тарского месторождения

[4]. Наиболее интенсивные работы велись с 2004 по 2011 гг. (рис. 2). В результате сверхинтенсивных способов разработки, чрезмерных объемов гидроразрыва пласта и закачки воды «здоровье» месторождения было подорвано [5] и добыча стала резко падать. В 2018 г. она снизилась до 146 тыс. т (51,1 млн дол. при той же цене 50 дол. за баррель); в 2019 г. добыча составила 114 тыс. т, а на 2020 г. запланировано 83 тыс. т.

Следует отметить, что промысловая инфраструктура отвечает всем современным стандартам, включая собственную электроэнергию за счет попутного газа (рис. 3).

Нефтеносность древних комплексов

В 1974 г. в девонских карбонатных породах открыто Малоичское месторождение. Это первое промышленное палеозойское месторождение в Западной Сибири. Малоичское месторождение разрабатывается медленно в связи с отсутствием целевой технологии, адаптированной именно к таким флюидо-породным системам с наличием карбонатной толщи. На рис. 4 видно, что высокопродуктивные очаги обнаружены только в западной части месторождения (очаги вторичной доломитизации).

Но этот опыт добычи из палеозойских отложений имеет непреходящее значение для освоения глубоких доюрских (протерозой + палеозой) пер-

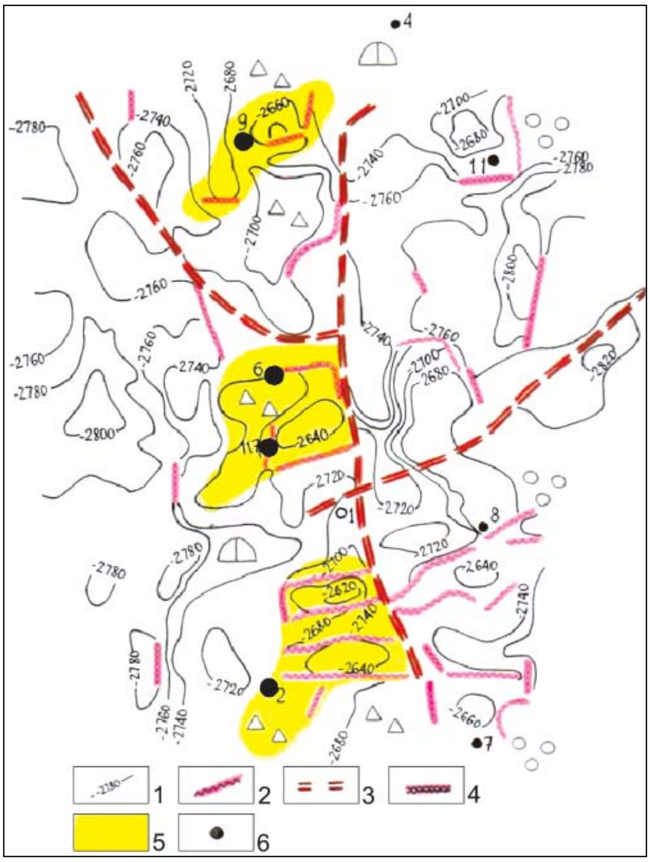


Рис. 4. Обзорная карта Малоичского месторождения с учетом результатов трехмерной сейсморазведки

1 – изогипсы поверхности карбонатных палеозойских пород, м; 2 – субвертикальные зоны эрозионно-тектонических выступов; 3 – предполагаемые глубинные разломы; 4 – тектонические нарушения; 5 – очаги вторичной доломитизации; 6 – скважины, давшие приток нефти

спективных комплексов Западной Сибири, включая Томскую и Новосибирскую области.

Проект «Палеозой» считается одним из главных нефтегазовых направлений в Западной Сибири в XXI в.

Кстати, в пределах предполагаемого полигона есть слабоизученный Межовский гранитный массив с признаками нефти.

История вопроса

В процессе поисково-разведочных работ на основании детальных исследований в различных лабораториях было установлено высокое качество верх-тарской нефти: она является беспарафинистой, малосернистой и пригодна для производства реактивных топлив. Это отражено в протоколах ГКЗ.

В первые годы разработки Верх-Тарского месторождения автор пропагандировал идею использования верх-тарской нефти для производства реактивного топлива для аэропорта Толмачево. Идея осталась без отклика и реализации.

В 2002 г. автор писал: «Думается, что Верх-Тарское месторождение в комплексе с опытным демонстрационным нефтеперерабатывающим заводом на основе процесса цеоформинга в г. Куйбышеве может стать эффективным научно-технологическим полигоном, не имеющим аналогов в России» [2, с. 42]. Даже на стадии разведки и чуть позже Верх-Тарское месторождение можно было считать научно-технологическим полигоном. Именно здесь впервые в Западной Сибири была проведена снежная нефтегазовая съемка по методике профессора В. С. Вышемирского (ИГиГ СО РАН), результаты которой показали увеличение контуров нефтеносности месторождения. Этот метод в дальнейшем был успешно применен данным институтом в приуральской части Западной Сибири (Урай, Тюменская область), Алтайском крае и других регионах.

Проблемы новосибирской нефти и организации нефтяного полигона были сформулированы автором во многих выступлениях, статьях и обращениях в авторитетные инстанции, включая руководство области, СО РАН, Сибнедра, а также к недропользователям и т. д., но конкретное обсуждение и решение так и не состоялось.

Трудности и недостатки эффективного освоения новосибирской нефти

1. Слабое научное, организационное и технологическое обеспечение работ на этих месторождениях со стороны недропользователя АО «НК «Нефтиса». Созданное в 2017–2018 гг. в Тюмени в системе этого АО управление работами ООО «ПИТ «СИБИНТЭК» практически ликвидировало ОАО «Новосибирскнефтегаз» как самостоятельное предприятие.

2. Недостаточное внимание к нефтегазовым делам со стороны органов власти Новосибирской области. Бытует ошибочное мнение, что нефти в нашей области мало и скоро она иссякнет.

3. Чрезвычайно слабый и малоэффективный контроль со стороны Новосибирского регионального департамента по недропользованию (Сибнедра).

4. Отсутствие интереса к специальным исследованиям и научному инновационному решению нефтегазовых проблем со стороны новосибирской академической науки.

Необходимость создания нефтяного полигона в Новосибирской области

Северный район характеризуется самыми разнообразными геологическими условиями [4]. Здесь прослежена мощная толща песчано-глинистых, терригенных мезозойских пластов и карбонатные палеозойские породы, а также погребенные граниты Межовского массива, причем нефтегазоносность установлена во всех перечисленных образованиях. Более интересный натурный объект для геолого-геофизических наблюдений и разнообразных исследований в Западной Сибири трудно найти. Разработка новой аппаратуры, методов изучения глубинных слоев и мониторинг состояния флюидонасыщенных систем обретают целевой смысл.

В этом районе есть нефть в юрских песчаниках (Верх-Тарское месторождение), в палеозойских карбонатах (Малоичское месторождение) и даже в межовских гранитах. За 50 лет накоплен большой объем разнообразной геологической, геофизической и промысловой информации. Имеется полная нефтяная инфраструктура, включая такой важный объект, как нефтепровод.

Это чрезвычайно перспективный объект для натурных исследований, апробации и распространения инновационных технологий для всего нефтегазового производства в международном аспекте.

Автор считает, что залежь (месторождение) нефти является живой флюидо-породной системой [3], состоящей из двух подсистем: породы (коллекторы) и флюиды (нефть, газ, вода).

Особенно важно определение фрактальных характеристик меняющегося со временем минералогического состава и пустотного пространства коллекторов. В качестве диагностических критериев состояния объектов разработки можно использовать размерности Хаусдорфа и показателя Херста [4]. В соответствии с современными представлениями перколяционным параметром является не пористость, а удельная поверхность пустотного пространства в макро- и микроскопическом измерениях. Именно в этом плане возможна детальная расшифровка различных процессов, изучение электромагнитных, акустических и других волн, а также динамики физических полей. Нанотехнологическая ориентация может оказаться весьма эффективной по многим научно-практическим направлениям в разведке и разработке нефтегазовых месторождений [4]. Это приобретает особое значение при освоении трудноизвлекаемых и остаточных запасов нефти и газа. Увеличение нефтеотдачи разрабатываемых месторождений – острейшая проблема в нефтяной промышленности многих стран мира, а в России, и особенно в Западной Сибири, имеет первостепенное значение [6].

О гитротермальной энергии

Особый интерес представляет изучение высокотемпературных глубинных очагов. Рядом с Верх-Тарским месторождением в Малоичской скв. 4 на глубине 4500 м температура составляет 160 °C. Во многих скважинах Западной Сибири температура в нефтяных пластах более 100 °C. Использование глубинного тепла означает получение нового масштабного источника энергии.

Петротермальная тепловая энергия составляет 99 % от общих ресурсов подземного тепла в России. На глубинах 4–6 км горячие породы (более 100–150 °C) распространены почти повсеместно [1]. Общий ресурс тепловой энергии, запасенной в десятикилометровом слое Земли, эквивалентен тепловому потенциалу сжигания $34{,}1 \cdot 10^9$ млрд т у. т., что в несколько тысяч раз больше теплотворной способности всех известных запасов топлива на Земле [4].

Выводы

В целом указанный район может быть нефтяным полигоном для решения многих научно-технологических задач, а также многоцелевым научно-образовательным полигоном федерального уровня. В организационно-правовом плане, видимо, его стоит включить в состав Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН в качестве некоммерческого научного предприятия.

Численное и лабораторное моделирование не может обеспечить достоверной информации. Надежное моделирование должно быть натурным, основанным на непрерывном мониторинге. Следует наладить наблюдения по всем основным параметрам флюидо-породной системы (автономные датчики желательно спускать непосредственно в продуктивные зоны).

Сибирские ученые должны найти способы лечить «уставшие» месторождения и добывать остаточную (трудноизвлекаемую) нефть. Институты СО РАН и Новосибирский государственный университет при содействии государственных органов власти и нефтяных компаний вполне способны обеспечить функционирование предлагаемого полигона. Это можно рассматривать как интернациональный проект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гнатусь Н. А.** Петротермальная энергетика России. Перспективы освоения и развития // Открытый семинар «Экономические проблемы энергетического комплекса». – М.: ИНП РАН, 2013. – 10 с.

2. **Запивалов Н. П.** Всему дают геологи начало. – Новосибирск: ИНГГ, 2002. – 12 с.

3. **Запивалов Н. П.** Динамика жизни нефтяного месторождения // Изв. ТПУ. – 2012. – Т. 321, № 1. – С. 206–211.

4. **Запивалов Н. П., Смирнов Г. И., Харитонов В. И.** Фракталы и наноструктуры в нефтегазовой геологии и геофизике. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2009. – 131 с.

5. **Zapivalov N. P.** Improved oil recovery vs. enhanced oil recovery // Enhanced oil recovery: Methods, economic benefits and impacts on the environment. Ed. A. Knight. – New-York: Nova Publishers, Inc., 2015. – P. 81–94.

6. **Zapivalov N. P.** Upstream & Midstream risks and uncertainties. New ways of thinking // Drilling and Exploration World. – India. – January, 2019. – Vol. 28, no. 3. – P. 37–46

REFERENCES

1. Gnatus N.A. [Petrothermal energy of Russia. Problems of assimilation and development]. *Otkrytiy seminar “Ekonomicheskie problemy energeticheskogo kompleksa”* [Open Workshop “Economic problems of

energy complex"]. Moscow, IEF RAS Publ., 2013. 10 p. (In Russ.).

2. Zapivalov N.P. *Vsemu dayut geologi nachalo* [Geologists give everything a start]. Novosibirsk, IPGG SB RAS Publ., 2002. 12 p. (In Russ.).

3. Zapivalov N.P. [Dynamics of oilfield life]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. Tomsk, 2012, no. 1, pp. 206–211. (In Russ.).

4. Zapivalov N.P., Smirnov G.I., Kharitonov V.I. *Fraktaly i nanostruktury v neftegazovoy geologii i geofizike* [Fractals and nanostructures in petroleum geology and geophysics.] Novosibirsk, GEO Publ., 2009. 131 p. (In Russ.).

5. Zapivalov N.P. Improved oil recovery vs. enhanced oil recovery. *Enhanced oil recovery: methods, economic benefits and impacts on the environment*. Ed. A. Knight. New-York, Nova Publishers, Inc., Publ., 2015, pp. 81–94.

6. Zapivalov N.P. Upstream & Midstream risks and uncertainties. New ways of thinking. *Drilling and Exploration World*, *India*. 2019, January, vol. 28, no. 3, pp. 37–46.

№ 1(41) ♦ 2020

УДК 330.15:556.3

ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА В СФЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ ДОБЫЧЕЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Е. И. Головина, В. С. Хлопонина

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Вода – важнейший компонент окружающей среды, возобновляемый, ограниченный и уязвимый природный ресурс, который обеспечивает экономическое, социальное, экологическое благополучие населения. В России сосредоточено более 20 % мировых запасов пресных вод, что делает ее в данном отношении одной из наиболее богатых стран мира. В перспективе России отводится особая роль в решении проблем рационального водопользования не только на своей территории, но и на международной арене. Цель исследования – выявление проблем и совершенствование законодательной базы в сфере государственного управления добычей подземных вод для хозяйственно-питьевых целей за счет внесения поправок в законы и подзаконные акты, которые регламентируют процедуру лицензирования геологического изучения и добычи подземных вод, а также систему налогового регулирования их добычи. Особенность подземных вод как объекта правового регулирования состоит в том, что подземные воды представляют собой неотъемлемый компонент недр, почв, вод, болот и иных элементов природы. Подземные воды являются источниками питьевого водоснабжения, обладают бальнеологическими, энергетическими свойствами, содержат ценные химические вещества. В статье представлены последние изменения законодательства в сфере регулирования добычи подземных вод, определены негативные последствия, даны рекомендации по совершенствованию системы государственного управления добычей подземных вод России.

Ключевые слова: *подземные воды, Закон РФ «О недрах», лицензия, регулирование недропользования, низкодебитный водозабор, добыча подземных вод.*

PROBLEMS OF MODERN LEGISLATION IN THE SPHERE OF UNDERGROUND WATERS EXTRACTION MANAGEMENT

E. I. Golovina, V. S. Khloponina

Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia

Water is an essential component of environment, it is a renewable, limited and vulnerable natural resource that ensures economic, social, and environmental well-being of the population. Russia has more than 20 % of the world's fresh water reserves, which makes it one of the richest countries in the world in this respect. In the future, Russia will play a special role in solving problems of rational water use not only in its territory, but also in the international arena. The purpose of the study is to identify problems and improve legislative framework in the field of state management of underground waters extraction for household water use by amending laws and regulations governing the licensing of geological exploration and underground waters extraction, as well as the system of tax regulation of underground water extraction. The peculiarity of underground waters as an object of legal regulation is that underground waters are an integral component of subsoils, soils, waters, swamps and other elements of nature. Underground waters are sources of domestic water supply, they possess balneological, energy properties, contain valuable chemicals. This article presents the latest legislative changes in the field of underground water extraction regulation, reveals negative consequences, gives recommendations for improving the system of state management of underground water extraction in Russia.

Keywords: *underground waters, RF law “On subsoils”, license, subsoil use regulation, low debit intake, underground water extraction.*

DOI 10.20403/2078-0575-2020-1-106-114

Водное хозяйство является одной из основных сфер, успешное функционирование которой обеспечивает основу стабильного и устойчивого развития любого государства. Достаточность водных ресурсов для конкретной страны зависит от численности населения, видов промышленного производства, специализации сельского хозяйства, повторного использования воды и других факторов [2]. Обеспечение населения источниками водоснабжения питьевого качества является важнейшей государственной задачей [19].

Подземные воды, будучи одновременно частью и недр, и общих водных ресурсов, представляют собой ценнейшее полезное ископаемое, использование которого в экономике и социальной сфере и главным образом для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения с каждым годом возрастает [7]. Обладая рядом преимуществ перед поверхностными, подземные воды относятся к стратегическим видам полезных ископаемых, а возможность их использования влияет на национальную безопасность государств [19].

Питьевые и технические подземные воды – одна из важнейших составляющих минерально-сырьевой базы подземных вод Российской Федерации [12]. Они служат для обеспечения водой населения и экономики регионов. Доля их использования в общем балансе хозяйственно-питьевого водоснабжения России составляет 53–55 % [1].

Основные методы управления добычей подземных вод – современные системы лицензирования недропользования и налогообложения их добычи. Действующий механизм этого управления в России сложен и несовершенен [3, 21]. Отсутствует четкое разграничение ролей, прав и обязанностей организаций, связанных с управлением добычей подземных вод, а также разделение сфер компетенции между ними; выработка законодательной базы; разработка и реализация экономических механизмов и методов экономического стимулирования рационального водопользования. Недостаточную эффективность действующей системы управления водохозяйственной деятельностью как одну из главных причин кризисного состояния водного хозяйства подчеркивают в своих работах такие ученые, как Г. Б. Харитонов [16], О. И. Исаев [6], Н. Б. Прохорова [10, 13] и др. Необходимость модернизации государственного управления и регулирования водопользованием, обусловленная несоответствием возрастающих проблем, возникающих в водном хозяйстве, методам их решения, также актуальна и на государственном уровне [4].

Анализ современного состояния изученности и использования подземных вод показывает, что в новых общественно-экономических условиях эффективность исследований существенно зависит не только от степени изученности гидрогеологических условий, но и от соответствия их результатов требованиям нормативно-правовой базы. Вопросы нормативно-правового регулирования изучения и добычи подземных вод до настоящего времени не имеют достаточного научного обоснования, что существенно влияет на информационную обеспеченность выполняемых работ и их эффективность [17].

Управление добычей подземных вод должно базироваться на системном подходе, учитывающем все аспекты недропользования начиная с должного законодательного обеспечения, и регламентации добычи данного полезного ископаемого.

Постановка проблемы

Сложность правового регулирования использования и охраны подземных вод состоит во взаимодействии норм законодательства о недрах и смежных отраслей (водного, земельного, экологического, санитарно-гигиенического, градостроительного и др.) [8]. Вследствие разобщенности вовлеченных в этот процесс ведомств, несовпадения их интересов, недостаточно высокой квалификации разработчиков формат выпускаемых документов часто носит противоречивый характер. Действующая нормативно-правовая база содержит ряд необоснованных требований и не в полной мере обеспечивает эффективное и рациональное использование недр.

Можно сказать, правовое управление добычей подземных вод имеет двойное регулирование. С одной стороны, действуют нормы закона РФ «О недрах» от 21.02.1992 № 2395-1, с другой – нормы водного законодательства (Водный кодекс РФ от 03.06.2006 № 74-ФЗ, вступивший в силу 01.01.2007). Помимо того что оба эти документа нуждаются в модернизации, необходимы разумное их разграничение и взаимоувязка [11].

Начиная с 01.01.2015 внесены значительные изменения в закон РФ «О недрах», Налоговый кодекс и другие подзаконные акты. Особенно повлияло принятие нового Федерального закона «О ведении гражданами садоводства и огородничества для собственных нужд и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 29.07.2017 № 217-ФЗ [15]. Все поправки оказывают значительное влияние на систему управления добычей подземных вод в настоящее время.

Методология

В ходе исследования используется комплексный метод, включающий анализ и обобщение данных, приведенных в публикациях российских и зарубежных авторов и периодических изданиях, отраслевых изданиях и бюллетенях, научных публикациях ведущих экспертов в области экономики и геолого-разведочных работ России, докладах правительственных слушаний, а также годовых отчетах и материалах по производственной деятельности отечественных и иностранных геолого-разведочных компаний, справочных изданиях специализированных институтов и агентств по исследуемой области.

Анализ поправок в современном законодательстве

Первым существенным изменением закона РФ «О недрах» (от 29.12.2014 г.) является отнесение к участкам недр местного значения тех участков, которые содержат подземные воды, используемые для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения (далее – питьевое водоснабжение) или технологического обеспечения водой объектов промышленности либо объектов сельскохозяйственного назначения, а объем их добычи составляет **не более 500 м^3/сут** (п. 3 ст. 2.3) [5]. Таким образом, участки недр, на которых ведется добыча свыше указанной, остались в ведении федерального уровня, а участки с меньшей добычей перешли на уровень субъектов Российской Федерации. Например, в Ленинградской области органом, обладающим полномочиями выдачи лицензий на геологическое изучение и добычу подземных вод с объемами добычи свыше 500 м^3/сут, является Федеральное агентство по недропользованию «Севзапнедра», а все остальные участки переданы в ведение Комитета по природным ресурсам Ленинградской области (далее КПР).

По мнению общероссийской общественной организации «Российский союз гидрогеологов» (Росгидрогео), такие изменения вызывают катастрофические последствия, которые приводят к слабоуправляемым процессам добычи подземных вод. По стране водозаборы производительностью до 500 м^3/сут составляют 95 %, и они, соответственно, выпадают из федеральной системы государственного учета и управления запасами подземных вод. В своем обращении к председателю Госдумы С. Е. Нарышкину (№ 016/2015 от 25.02.2015) Российский союз гидрогеологов указывает, что одним из факторов потерь бюджета гидрогеологи считают «сокращение налоговых поступлений от недропользователей, которые в условиях неразберихи не будут легализовывать недропользование, не будут отчитываться о реальных водоотборах» [11].

Другим существенным изменением Закона РФ «О недрах» в сфере лицензирования геологического изучения и добычи подземных вод является поправка в ст. 29: «Предоставление недр в пользование для добычи полезных ископаемых разрешается только после проведения государственной экспертизы их запасов, за исключением предоставления участков недр местного значения для добычи подземных вод, которые используются для целей питьевого водоснабжения или технологического обеспечения водой объектов промышленности либо объектов сельскохозяйственного назначения и объем добычи которых составляет не более 100 кубических метров в сутки (включительно)» [5]. Иначе говоря, приняв эту поправку, государство освобождает от прохождения государственной экспертизы по запасам подземных вод подобных пользователей и тем самым снимает с себя ответственность за возможное несоответствие качества таких подземных водозаборов и утрачивает контроль за недрами.

Следствием перечисленных поправок является и сама процедура оценки запасов: на участках недр с добычей 101–500 м^3/сут она выполняется на региональном уровне, а свыше 501 м^3/сут – на федеральном. Во втором случае проводится государственная экспертиза запасов с помощью независимых экспертов Государственной комиссии по запасам (ГКЗ), в первом же – запасы оценивает уполномоченный орган, например КПР Ленинградской области. Результатом оценки на федеральном уровне является заключение комиссии, а на региональном – отчет. Получается, что экспертная оценка материалов производится собственными силами региональных органов без привлечения профессиональных независимых экспертов и имеет скорее формальный характер.

Таким образом, существенным негативным последствием принятия данных поправок является создание идеальных условий для бесконтрольной и хищнической добычи подземных вод. Крупные недропользователи будут стараться уйти на уровень местной юрисдикции, где нет регуляторов по недропользованию. Уже началось дробление крупных водозаборов на более мелкие, переоформляются документы на новые юридические лица и формируются заявки на местные лицензии. Крупный водозабор превращается в группу мелких обособленных с объемом добычи до 100 м^3/сут, принадлежащих фиктивно независимым недропользователям. Следовательно, процесс добычи подземных вод становится еще более неуправляемым и бесконтрольным.

В соответствии с федеральным законодательством некоммерческие организации, созданные для ведения садоводства, огородничества или дачного хозяйства, до 01.01.2020 были вправе осуществлять добычу подземных вод для целей хозяйственно-бытового водоснабжения без получения лицензии на пользования недрами, но после 01.01.2020 это будет расцениваться как правонарушение по ч. 1 ст. 7.3 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях. За пользование недрами без соответствующей лицензии предусмотрено административное наказание в виде штрафа для должностных лиц 30–50 тыс. руб., для юридических лиц от 800 тыс. до 1 млн руб.

Соответственно, этим организациям необходимо оформить лицензии на пользование недрами до указанной даты либо прекратить добычу подземных вод вплоть до получения лицензии.

С 01.01.2019 вступили в силу изменения в федеральное законодательство, позволяющие садоводческим и огородническим некоммерческим товариществам добывать подземные воды для целей хозяйственно-бытового водоснабжения в упрощенном порядке (без проведения геологического изучения недр, государственной экспертизы запасов полезных ископаемых, согласования и утверждения технических проектов и иной проектной документации на выполнение работ, связанных с пользованием недрами, а также без предоставления доказательств того, что товарищества обладают или будут обладать квалифицированными специалистами, необходимыми финансовыми и техническими средствами).

Кроме того, до 01.01.2020 данные организации освобождены от уплаты государственной пошлины за предоставление такой лицензии на пользование недрами для добычи подземных вод, используемых для целей хозяйственно-бытового водоснабжения. Следует обратить внимание, что данные нововведения не распространяются на добычу подземных вод для целей питьевого водоснабжения [15].

Тем не менее следует отметить и положительные тенденции в сфере лицензирования недропользованием подземных вод. Благодаря п. 4 «Процедуры, связанные с недропользованием (применяются в случаях, установленных нормативными правовыми актами Российской Федерации)» в постановлении Правительства РФ от 07.11.2016 № 1138 «Об исчерпывающих перечнях процедур в сфере строительства объектов водоснабжения и водоотведения и правилах ведения реестров описаний процедур» предусматривается выдача совмещенных лицензий на геологическое изучение и добычу подземных вод. Это позволит уменьшить сроки получения лицензии, а также сократить затраты на составление проектов, отчетов, согласований, избежав дублирования многих из них.

По-прежнему в новом законодательстве не учтен вопрос о регистрации индивидуальных низкодебитных подземных водозаборов, массовая доля которых в настоящее время весьма велика. По закону РФ «О недрах» геологическое изучение и добычу подземных вод могут осуществлять юридические лица. Населению разрешено пользоваться бесплатно только грунтовыми водами. Добыча подземных вод из оцененных водоносных горизонтов индивидуальными пользователями запрещена по закону, что приводит к вынужденному нарушению права населения на получение качественного источника питьевого водоснабжения.

В таблице приводится пример расчета средних объемов добычи подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Зарегистрированные садовые участки в Ленинградской области и средний объем добычи подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения

Количество участков в некоторых садоводческих массивах		Расчетный средний объем добычи, м^3/мес
Мшинское	22500	162000
Чаща	10000	72000
Пупышево	18750	135000
Бабино	6000	43200
Новая Ропша	35000	252000
Дунай	13500	97200
Новинка	6900	49680

Исходя из санитарных норм потребления на двух жителей по минимальным нормативам (120 л на человека в сутки) рассчитаны объемы добычи подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения. В указанных садоводческих массивах не зарегистрировано ни одного водозаборного объекта, соответственно, не оформлены добычные лицензии. Суммарные объемы добычи при этом по расчетам могут достигать 27036 м^3/сут. Недоучет таких значительных объемов эксплуатации водоносных горизонтов негативно сказывается на общем ресурсном балансе подземных вод, часто приводит к недостаточному восполнению их ресурсов.

Основной причиной отказа выдачи лицензий и регистрации индивидуальных низкодебитных водозаборных скважин, по мнению многих специалистов, является невозможность организации зон санитарной охраны (далее ЗСО) I пояса радиусом 30 м для защищенных и 50 м для незащищенных (как правило, безнапорных) водоносных горизонтов в рамках индивидуальных земельных участков на территории индивидуальных жилищных строительств (далее ИЖС) и садоводческих товариществ. Требования СанПиН 2.1.4.1110–02 от 2002 г. [14] в разделе 2.2 жестко определяют перечисленные границы I пояса, тем не менее Роспотребнадзор допускает сокращение ЗСО I пояса до 15, а иногда и до 10 м при наличии гидрогеологического обоснования высокой степени защищенности водоносного горизонта. В таких случаях, как правило, проводятся дополнительные исследования.

Физический смысл организации ЗСО I пояса состоит в защите водоносного горизонта от загрязнения и заражения непосредственно в прискважинной зоне. При этом факторы загрязнения зависят чаще всего от следующих факторов:

– цементация затрубного пространства;

– смешивание нескольких водоносных горизонтов путем их каптажа фильтровыми колоннами;

– герметизация оголовков скважин;

– асфальтирование или цементация околоустьевой части скважины;

– применение качественных обсадных труб (не асбоцементных или пластиковых);

– возвышение устья скважины в рельефе;

– доступность специалистов при организации наблюдений за уровнями подземных вод, расходом воды;

– отбор проб на анализы и т. д.

По словам ведущих специалистов (в том числе европейских), сокращение ЗСО I пояса до 3 м (для защищенных водоносных горизонтов) и 10 м (для незащищенных) для низкодебитных скважин (производительностью до 3–5 м^3/сут) вполне возможно при условии жестких регламентных требований к сооружениям и обустройству самих водозаборных скважин; приемку их в эксплуатацию должны осуществлять специалисты-эксперты. Научной группой гидрогеологической и геоэкологической компании «ГИДЭК» разработаны предложения по ограничению ЗСО I пояса для большинства низкодебитных водозаборных объектов границами надкаптажного стационарного сооружения на скважине, оборудованного согласно СНиП. Таким образом, по мнению многих ведущих специалистов, это обеспечит изоляцию водоносного горизонта от проникновения загрязнения с поверхности и решение проблем расположения ранее оборудованных существующих водозаборов. При этом особую роль играет непосредственно качество обсадки водозаборной скважины, наличие кондуктора, цементация затрубного и межтрубного пространства, обустройство отмостки вокруг устья скважины, наличие герметичного оголовка на нее, а также возможность закрытия доступа посторонних лиц к ее устью [18–20].

Решение данной проблемы путем принятия соответствующего нового технического регламента на водозаборные объекты позволит провести ревизию и регистрацию всех индивидуальных низкодебитных подземных водозаборов и, соответственно, организовать лицензирование добычи подземных вод по упрощенной методике для физических лиц в рамках своих земельных участков. Оттягивание такого решения неизбежно приведет к негативным экологическим последствиям и истощению запасов водоносных горизонтов.

С указанной проблемой неразрывно связан вопрос о необходимости лицензирования буровых и геолого-разведочных организаций, в штате которых часто отсутствуют профильные специалисты (геологи, технологи, гидрогеологи). В связи с этим в последнее время резко ухудшилось качество водозаборных скважин, в том числе и промышленных.

Негативным фактором также является тенденция к пересмотру лицензионных требований в рамках выданных ранее добычных лицензий. Например, комбинат пищевых продуктов, добывающий подземные воды для технических целей и имеющий действующую лицензию, был обязан произвести оценку запасов и разработать проект на геологическое изучение. Но в лицензии это не оговорено, а эксплуатационные запасы утверждены. Данный водозабор расположен в центре Санкт-Петербурга и эксплуатирует гдовский водоносный горизонт. Лицензия выдана без дополнительных условий на 25 лет. В ней указано, что вода является минеральной (минерализация около 6 г/л), хотя это неверно. В данном случае вода используется для сугубо технических целей (для систем охлаждения), а повышенная минерализация якобы дает право относить ее к лечебным минеральным водам, для которых предусмотрена иная налоговая ставка (НДПИ 7,5 % от стоимости реализации), чем для технических подземных вод (п. 1 ст. 333 НК РФ) [9]. Подобных неточностей в лицензионных документах много.

С другими нестыковками при лицензировании общественных и коммунальных водозаборов сталкиваются водопользователи, имеющие старые поселковые скважины, часто работающие более 50 лет. Такие водозаборы, построенные еще по советским нормам и правилам, часто не отвечают современным требованиям лицензирования (например, соблюдение границ ЗСО, отсутствие проектов на геологическое изучение и оценки запасов). Примером данного явления может служить водозабор в пос. Токсово (Ленинградская обл.) с производительностью более 600 м^3/сут, принадлежавший ранее воинской части и обеспечивающий хозяйственно-питьевое водоснабжение жилого фонда поселка. Проблема также заключается в том, что в зону ЗСО II и III пояса попадает ветка Октябрьской железной дороги. Перенести водозабор невозможно из-за застроенной поселковой территории. Качество воды неизменно в течение многих лет, на водозаборе постоянно работает система контроля и водоподготовки, но его эксплуатация противоречит современным нормам и правилам, связанными с поправками в Закон РФ «О недрах».

В каждом конкретном случае необходимо индивидуально решать гидрогеологические задачи, делать экспертные заключения, но только в том случае, если система управления добычей подземных вод будет иметь ведомственную консолидированность, а значит, и адресную ответственность.

Отдельного рассмотрения требует вопрос отчетности водопользователей. На сегодняшний день существуют две формы статистической отчетности: № 4-ЛС и № 2-ТП (водхоз).

Первая представляет собой отчетность по количеству отбираемой из водоносного горизонта воды, содержит сведения о ее качестве, режиме эксплуатации для организации, имеющей добычную лицензию (по виду лицензии «ВЭ»). Эту информацию использует Федеральная служба мониторинга.

Вторая предусмотрена для юридических и физических лиц (в том числе индивидуальных предпринимателей), осуществляющих водоотбор из водоносных горизонтов, но не имеющих лицензии на добычу подземных вод (садоводства, фермерские хозяйства, поселковые водозаборы с небольшим водоотбором – до 100 м^3/сут). Отчетность включает количество отбираемой за соответствующий период воды и краткую информацию о качестве и системе водоочистки. Эти данные не всегда попадают в Федеральную службу мониторинга.

Существование двух форм отчетности вносит неразбериху в составление единого баланса водопользования, а ведомственная разобщенность только усугубляет проблему управления добычей подземных вод. И даже последняя редакция закона РФ «О недрах» не предусматривает единой формы отчетности водопользователей.

Выводы

Исходя из указанных недостатков в сфере управления добычей подземных вод становится ясно, что необходима функциональная централизация этой системы в рамках эксплуатации водоносных горизонтов. Большинство действующих водозаборов оказалось вне должного контроля со стороны специалистов в области геологии, гидрогеологии и экологии. Предлагаемая схема государственного управления добычей подземных вод представлена на рисунке.

В результате анализа изменений Закона РФ «О недрах» и других подзаконных актов в сфере добычи подземных вод, а также последствий их применения предлагается выделить следующие экономические принципы организации государственного управления добычей подземных вод:

1. Отраслевая окупаемость

Она может быть достигнута за счет налоговых сборов при заборе (добыче) подземных вод, лицензионных сборов, которые должны перекрывать

Предлагаемая схема государственного управления добычей подземных вод

затраты федерального и региональных бюджетов на деятельность систем контроля, мониторинга, а также различные целевые геолого-разведочные и экологические программы. Добыча подземных вод не должна быть убыточна для государственного бюджета.

2. Целостность структуры управления добычей подземных вод

Эффективные функции управления возможны только при наличии одного головного органа, способного получать и обрабатывать информацию, планировать и контролировать деятельность по добыче подземных вод.

Вектор развития нормативной базы очевиден: детальная регламентация действий как недропользователей, так и должностных лиц, ответственных за исполнение государственных функций.

В настоящее время все меньше внимания уделяется содержательной части материалов, что крайне негативно сказывается на качестве и эффективности геологических исследований в частности и недропользования в целом. Мониторинг, требования к которому содержатся в лицензионных соглашениях, не проводится недропользователями в должном объеме, поскольку не используется ими для оперативного управления, а действенный механизм воздействия на них отсутствует. Учеными уже разработана методика картирования и оценки ресурсного потенциала подземных вод на основе геолого-картографического моделирования и создания постоянно действующих картографических моделей. Эту методику также целесообразно учесть при построении единой структуры управления добычей подземных вод, поскольку она увязывает в себе систему как мониторинга, лицензирования, учета и контроля уже имеющихся водозаборных объектов, так и планирования будущих подземных водозаборов.

3. Принцип развития

Геолого-разведочные работы на подземные воды должны стать инвестиционно привлекательной сферой деятельности. Необходим баланс интересов между государством как собственником недр и недропользователями, получающими требуемые водные ресурсы. На любом месторождении подземных вод перед освоением проводится определенный цикл затратных геолого-разведочных работ. Следовательно, и государство, и отдельные недропользователи стараются сократить объем ГРР в ущерб качеству полученной информации. При создании единой системы управления добычей подземных вод задачи ГРР можно оптимизировать, а свободные средства вкладывать (инвестировать) в геологоразведку, применяя инновационные технологии не только на этапах полевых работ, но и в современных численных системах обработки информации, например программно-алгоритмическом комплексе GeoCODE.

4. Создание понятной тарифной политики

При ясной, четкой и урегулированной системе налогообложения и лицензионных сборов (фиксированные платежи) можно нормализовать и сферу тарифного регулирования, когда в себестоимость добычи подземных вод не закладываются дополнительные работы, связанные с геологическим изучением, лицензионными требованиями, которые, как выяснилось в 2018 г., могут меняться и т. д.

5. Справедливость налоговой политики

Система налогообложения при заборе (добыче) подземных вод должна затрагивать не только официально зарегистрированные водозаборы, но и частный сектор (индивидуальные водопользователи), которые не имеют возможности зарегистрировать свой водозабор и уплачивать водный налог.

6. Принцип ответственности

Налоговые и лицензионные комплексные сборы увеличат ответственность как недропользователей перед государством, так и наоборот. В первом случае недропользователь обязан оплачивать право на пользование (добычу) полезного ископаемого, принадлежащего государству, в виде налогов и лицензионных работ, направленных на безопасное с экологической и геологической точек зрения извлечение ископаемого. Во втором государство, согласно собираемому бюджету, должно обеспечить необходимый недропользователю ресурсный потенциал в заявленном количестве и качестве на период расчетной эксплуатации.

7. Экономическое развитие отрасли

Принцип основан на увеличении доли обеспечения населения качественными хозяйственно-питьевыми водами из подземных источников, так как подземные воды имеют целый ряд преимуществ над поверхностными (защищенность, необходимый минеральный состав, близкое расположение водозабора к потребителю и т. д.)

При создании условий для инвестирования в «вододобывающую» отрасль (в том числе и ГРР) доля подземных водозаборов неизбежно возрастет. Особенно это актуально для развития сельскохозяйственных предприятий, строительства новых загородных поселений.

8. Бюджетное планирование

Планирование финансирования отдельных геологических и экологических программ возможно только после получения бюджетных платежей (налоговых и лицензионных) по регионам с учетом доли собираемости платежей. Регионы, обеспечивающие максимальные налоговые поступления, соответственно, требуют наибольшего внимания со стороны геологической и экологической служб (экологическая безопасность, сработка водных ресурсов и т. д.). В то же время необходимо учитывать и те регионы, где увеличивается освоение территорий, например, Дальний Восток, Приморский край и т. д. Именно в таких районах необходимо проведение ГРР, поиск новых месторождений подземных вод.

9. Повсеместность проблемы

Подземные воды расположены на территории практически всей страны (от Калининграда до Камчатки). Аналогов такого полезного ископаемого по своим размерам, запасам и важности нет. Следовательно, государство должно уделять этому вопросу особое внимание (наравне с углеводородными ресурсами).

10. Экономическая целесообразность

Подземные воды в ближайшей перспективе могут являться существенным источником пополнения региональных бюджетов, особенно на территории пограничных районов (Китай, Монголия, Казахстан и т. д.). Подземные воды могут стать экспортным сырьем, что увеличит инвестиционную привлекательность данного вида деятельности, а это, в свою очередь, приведет к необходимости международной стоимостной оценки подземных вод как товарной продукции.

В настоящее время активно вносятся пояснения и инструкции к применению подзаконных актов, осуществляется корректировка правоприменительной практики последних законов, которые приводят к дополнительным межведомственным разногласиям и конфликтам с недропользователями, подающими заявочные документы на лицензирование. В большинстве случаев недропользователь получает отказ в выдаче лицензии из-за меняющейся последовательности предоставления требуемой для процедуры лицензирования документации.

В заключение следует отметить, что законодательная реформа требует крупномасштабной корректировки. Следствием внесенных поправок неизбежно является недополучение бюджетом налоговых поступлений, лицензионных сборов, соответственно, федеральные целевые программы будут уменьшаться. Существует немало конструктивных предложений от ведущих специалистов России в области добычи подземных вод, однако пока они не воплощены в новых законопроектах. В связи с этим целесообразно создать общероссийскую экспертную группу решения проблем структуризации в области управления добычей подземных вод России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Боревский Б. В., Язвин А. Л., Черепанский М. М.** Экспертные оценки ресурсного потенциала подземных вод при разработке схем комплексного использования и охраны водных ресурсов // Разведка и охрана недр. – 2014. – № 5. – С. 29–32.

2. **Галковский С. В.** Использование водных ресурсов в республике Беларусь // Экономика и социум. – 2016. – № 11 (30). – С. 1–5.

3. **Головина Е. И.** Совершенствование организационно-экономического механизма рационального использования подземных вод: автореф. дис. … к. э. н. – СПб., 2015. – 22 с.

4. **Головина Е. И.** Экономический механизм рационального использования подземных вод. // Изв. Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16 № 1 (4). – С. 951–955.

5. **Закон** РФ «О недрах» от 21.02.1992 N2395–1 (ред. от 27.12.2019 г.). – Точка доступа: http://www.consultant.ru/popular/nedr; дата обращения 09.10.2017 г.

6. **Исаев О. И.** Использование экономической оценки водных ресурсов в управлении водохозяйственной деятельностью: автореф. дис. … к. э. н. – М.: ВНИИГиМ, 2009. – 23 с.

7. **Методические рекомендации** по организации и ведению мониторинга подземных вод на мелких групповых водозаборах и одиночных эксплуатационных скважинах. – М.: Геоинформмарк, 2000. – Точка доступа: http://files.stroyinf.ru/data2/1/4293806/4293806408.htm. – Дата обращения 04.10.2019 г.

8. **Мухина Э. М.** Правовое регулирование использования и охраны подземных вод: автореф. дис. … к. ю. н. – М.: ИЗиСП, 2011. – 29 с.

9. **Налоговый** кодекс Российской Федерации. Гл. 25.2 «Водный налог» (введена ФЗ от 28.07.2004 № 83-ФЗ). – Точка доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/858b17402d7084620bcbc3551046ce61670f7427; дата обращения 02.08.2019 г.

10. **Об актуальности** совершенствования методологии стоимостной оценки водных ресурсов / Ю. Б. Мерзликина, К. В. Крутикова, Н. Б. Прохорова, Е. Е. Морозова // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2017. – № 1. – С. 50–57.

11. **Пашкевич Н. В., Головина Е. И.** Актуальные проблемы в системе государственного управления

добычей подземных вод на территории Российской Федерации // Записки Горного института. – 2014. – Т. 210. – С. 99–107.

12. **Подземные** воды. – Точка доступа: http://www.mineral.ru/Facts/russia/161/540/3_26_water.pdf.

13. **Прохорова Н. Б., Крутикова К. В., Ражикова Е. Г.** Развитие системы платежей, налогов и сборов, а также иных экономических механизмов при пользовании водными ресурсами // Водное хозяйство России. – 2005. – Т. 7, № 6. – С. 535.

14. **Санитарные** правила и нормы (СанПиН) 2.1.4.1110–02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого водоснабжения». – М.: Минздрав России. – 2002. – Точка доступа: https://base.garant.ru/12126663; дата обращения 29.12.2019 г.

15. **Федеральный** закон «О ведении гражданами садоводства и огородничества для собственных нужд и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 29.07.2017 № 217-ФЗ (последняя редакция). – Точка доступа: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc base=LAW n=304241 fld=134 dst=1000000001,0 rnd=0.3358890392956827#02594380163793747.

16. **Харитонов Г. Б.** Совершенствование организационно-экономического механизма реализации государственной водохозяйственной политики в Российской Федерации: автореф. дис. … к. э. н. – Ростов-на-Дону: СКАГС, 2008. – 29 с.

17. **Язвин А. Л.** Научное обоснование информационного обеспечения системы геологического изучения ресурсного потенциала пресных подземных вод: автореф. дис. … д. г.-м. н. – М.: ГИДЭК, 2015. – 48 с.

18. **Dashko R. E., Kotiukov P. V.** Fractured clay rocks as a surrounding medium of underground structures: The features of geotechnical and hydrogeological assessment // International European Rock Mechanics Symposium, EUROCK 2018. Vol. 1. – Saint Petersburg: Mining University, 2018. – P. 241–248.

19. **Dashko, R. E., Lange, I.Y.** Engineering-geological aspects of negative effects associated with contamination of disperse soils by oil products // International multidisciplinary scientific geoconference surveying geology and mining ecology management. SGEM. – 2017. – Vol. 17 (14). – P. 617–625.

20. **Dashko R. E., Lebedeva Y.A.,** Improving approaches to estimating hydrogeological investigations as a part of engineering survey in megacities: Case study of St. Petersburg // Water Resources. – 2017. – Vol. 1, no. 7. – P. 875–885.

21. **Golovina E. I.** Strategic issues groundwater extraction management in Russia // Journal of Ecological Engineering. – 2017. – Vol. 8, Issue 3. – P. 13–21.

REFERENCES

1. Borevskiy B.V., Yazvin A.L., Cherepanskiy M.M. [Expert evaluations of the underground waters resource potential in the development of water resources assessment]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2014, no. 5, pp. 29–32. (In Russ.).

2. Galkovskiy S.V. [Water resources use in the Republic of Belorussia]. *Ekonomika i sotsium*, 2016, no. 11(30), pp. 1–5. (In Russ.).

3. Golovina E.I. *Sovershenstvovanie organizatsionno-ekonomicheskogo mekhanizma ratsionalnogo ispolzovaniya podzemnykh vod. Avtoref. kand. dis*. [Improvement of business mechanism of underground waters management. Author's abstract of PhD thesis]. Saint Petersburg, 2015. 22 p. (In Russ.).

4. Golovina E.I. [Economic mechanism of underground waters management]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii* nauk, 2014, vol. 16, no. 1(4), pp. 951–955. (In Russ.).

5. *Zakon RF "O nedrakh" ot 21.02.1992 N2395–1 (redakt. 03.08.2018).* [Law of the Russian Federation "About Mineral Resources" from 21.02.1992 N 2395–1 (edit. 03.08.2018]. Available at: http://www.consultant.ru/popular/nedr (accessed 09.10.2017). (In Russ.).

6. Isaev O.I. *Ispolzovanie ekonomicheskoy otsenki vodnykh resursov v upravlenii vodokhozyaystvennoy deyatelnostyu. Avtoref. kand. dis*. [Use of economic appraisal of water resources in the water management. Author's abstract of PhD thesis]. Moscow, 2009. 23 p. (In Russ.).

7. *Metodicheskie rekomendatsii po organizatsii i vedeniyu monitoringa podzemnykh vod na melkikh gruppovykh vodozaborakh i odinochnykh ekspluatatsionnykh skvazhinakh* [Guidelines on organization and monitoring of underground waters at small group water intakes and single producing wells]. Moscow, ZAO "Geoinfornmark", 2000. Available at: http://files.stroyinf.ru/data2/1/4293806/4293806408.htm (accessed 04.10.2019). (In Russ.).

8. Mukhina E.M. *Pravovoe regulirovanie ispolzovaniya i okhrany podzemnykh vod. Avtoref. kand. dis*. [Legal regulation of use and protection of groundwater. Author's abstract of PhD thesis]. Moscow, 2011. 29 p. (In Russ.).

9. *Nalogovyy kodeks Rossiyskoy Federatsii, glava 25.2. "Vodnyy nalog" (vveden FZ ot 28.07.2004 N83-FZ)* [Tax Code of the Russian Federation, ch.25.2. Water Tax (introduced by FL from 28.07.2004 No. 83-FL]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_28165/858b17402d7084620bcbc3551046ce61670f7427/ (accessed 02.08.2019). (In Russ.).

10. Merzlikina Yu.B., Krutikova K.V., Prokhorova N.B., Morozova E.E. [On the relevance of perfection of the water resources cost estimation methodology]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie,* 2017, no. 1, pp. 50–57. (In Russ.).

11. Pashkevich N.V., Golovina E.I. [Topical issues of the management of extraction of underground waters on the territory of the Russian Federation]. *Zapiski gornogo instituta*, 2014, vol. 210, pp. 99–107. (In Russ.).

12. *Podzemnye vody* [Underground waters]. Available at: http://www.mineral.ru/Facts/russia/161/540/3_26_water.pdf. (In Russ.).

13. Prokhorova N.B., Krutikova K.V., Razhikova E.G. [Development of system of payments, taxes and dues, as well as other economic mechanisms when using water resources]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii*, 2005, vol. 7, no. 6, p. 535. (In Russ.).

14. *Sanitarnye pravila i normy SanPiN 2.1.4.1110–02 "Zony sanitarnoy okhrany istochnikov vodosnabzheniya i vodoprovodov khozyaystvenno-pityevogo vodosnabzheniya"* [Sanitary rules and standards SanRaS2.1.4.1110–02 "Sanitary Protection Zones for Water Supply Sources and Drinking Water Supply Lines"]. Moscow, Ministry of Health of Russia Publ., 2002. Available at: https://base.garant.ru/12126663. (In Russ.).

15. *Federalnyy zakon "O vedenii grazhdanami sadovodstva i ogorodnichestva dlya sobstvennykh nuzhd i o vnesenii izmeneniy v otdelnye zakonodatelnye akty Rossiyskoy Federatsii" ot 29.07.2017 N217-FZ (poslednyaya redaktsiya)* [Federal Law "On keeping of gardening and vegeculture by citizens for their own needs and on introduction of alternations in several legislative acts of the Russian Federation" from 29.07.2017 N217-FL (revised). Available at: http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc base=LAW n=304241 fld =134 dst=1000000001,0 rnd=0.3358890392956827#0 2594380163793747. (In Russ.).

16. Kharitonov G.B. *Sovershenstvovanie organizatsionno ekonomicheskogo mekhanizma realizatsii gosudarstvennoy vodokhozyaystvennoy politiki v Rossiyskoy Federatsii. Avtoref. kand. dis*. [The business mechanism improvement for realization of the state water supply politics in the Russian Federation. Author's abstract of PhD thesis]. Rostov-on-Don, 2008. 29 p. (In Russ.).

17. Yazvin A.L. *Nauchnoe obosnovanie informatsionnogo obespecheniya sistemy geologicheskogo izucheniya resursnogo potentsiala presnykh podzemnykh vod. Avtoref. dokt. dis.* [Scientific substantiation of information support for geological study of the fresh underground waters resource potential. Author's abstract of DcS thesis]. Moscow, 2015. 48 p. (In Russ.).

18. Dashko R.E., Kotiukov P.V. Fractured clay rocks as a surrounding medium of underground structures: The features of geotechnical and hydrogeological assessment. *International European Rock Mechanics Symposium, EUROCK 2018. Vol. 1.* Saint Petersburg, Mining University Publ., 2018. P. 241–248.

19. Dashko, R.E., Lange, I.Y. Engineering-geological aspects of negative effects assotiated with contamination of disperse soils by oil products. *International multidisciplinary scientific geoconference surveying geology and mining ecology management. SGEM*. 2017, vol. 17 (14), pp. 617–625.

20. Dashko R.E., Lebedeva Y.A. Improving approaches to estimating hydrogeological investigations as a part of engineering survey in megacities: Case study of St. Petersburg. *Water Resources,* 2017, vol. 1, no. 7, pp. 875–885.

21. Golovina E.I. Strategic issues groundwater extraction management in Russia. *Journal of Ecological Engineering*, 2017, vol. 8, Issue 3, pp. 13–21.

УДК 504.056:621.311.25(091)

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ ИМ. О. Ю. ШМИДТА В ЧЕРНОБЫЛЕ (МАЙ 1986)

А. В. Николаев
Институт физики Земли РАН им. О. Ю. Шмитда, Москва, Россия

THE SCHMIDT INSTITUTE OF PHYSICS OF THE EARTH IN CHERNOBYL (MAY 1986)

A. V. Nikolaev
The Schmidt Institute of Physics of the Earth, Moscow, Russia

Почему Институт физики Земли?

4 мая 1986 г. наш директор академик М. А. Садовский вызвал меня и спросил, согласен ли и готов ли я ехать в Чернобыль: там проблема с разрушенным четвертым блоком реактора, требуется сейсмический мониторинг, есть опасность нового взрыва, выброса радиоактивных элементов. Я согласился. Садовский сказал, что завтра надо принять участие в совещании в Курчатовском институте. Видимо, ему это сообщил А. П. Александров (президент АН СССР) и просил помочь по дружбе, а Садовский поручил мне, потому что проблема была мне более близка, чем другим.

5 мая утром в Курчатовском институте я встретился с некой компанией незнакомых специалистов, которые объяснили задачу: есть опасность, что ТВЭЛы (радиоактивные тепловыделяющие элементы), разбросанные по полу взорвавшегося реактора, могут прожечь его железобетонный пол, раскаленная масса провалится в бассейн-барботер (под реактором), заполненный водой как раз на случай ЧС, но этот сценарий не сработал. Если пол будет прожжен, произойдет новый взрыв – выброс радиоактивного пара, резко повысится радиоактивная зараженность. Процесс прожигания железобетонного пола должен сопровождаться растрескиванием, сейсмические сигналы этих актов достигнут эквивалента до 1 кг взрыва ТНТ, их может записать сейсмика, и таким образом можно судить о происходящем. На АЭС, как они считали, тихо, можно наблюдать в машинном зале около третьего блока, там радиоактивность около 1 Р/ч.

Получив эту информацию, я приехал в ИФЗ и написал заявление о командировании меня, Рувфета Урдуханова, Миши Крекова и Миши Попова. Никто не возражал. Взяли три канала башиловских короткопериодных датчиков, косу ПВР, чернильный самописец, часть аппаратуры нашей лаборатории, часть ОКБ и 10-литровую канистру спирта.

Поездка на ЧАЭС

7 мая собрались сначала во дворе какого-то средмашевского здания на Старой площади, всего человек пятнадцать. Автобусом приехали в аэропорт Чкаловск прямо к самолету ЯК-24 министра среднего машиностроения Е. П. Славского, оборудованному для совещаний (стол, кресла, просторный салон, стюардесса и минеральная вода). Прилетели в Борисполь. Попутчик – молодой физик-ядерщик, много знающий. Рассказал, что он должен измерить температуру на полу разрушенного реактора, спустить датчик с вертолета. Для этого вертолет зависнет на 10 минут над реактором. Чтобы уменьшить воздействие радиации, физик приготовил бутылку спирта, чтобы выпить перед самым началом измерений. Важный момент: алкоголь в крови действительно снижает действие радиации. В течение 10 минут он будет еще трезвый и проведет измерения, а потом его доставят в «Сказочный», а там он проспится и сразу уедет в Москву.

Прилетели в Борисполь, нас встретили у трапа и отвезли на автобусе в «Сказочный», пионерлагерь для детей сорудников Чернобыльской и Кольской АЭС, в 35 км от станции. Распределили по палатам. Кровати стояли вплотную по две, между ними – узкий проход. Я оказался соседом знакомого физика. Где были другие наши трое – не помню. Поели в столовой: коммунизм, столовая работает круглосуточно, кормят всех кто придет, сколько захочешь, вкусно. На столах тарелки с белыми йодовыми таблетками, так как радиоактивный йод еще не распался, таблетки – чтобы щитовидка была насыщена и не впитывала его. Надо две таблетки в день, но некоторые ели их горстями. В палате специалисты самые разные – медики, технари, физики-ядерщики, химики из разных организаций. Из Академии наук – только я. Разговоры в палате тоже самые разные, интересные.

На другой день после прилета сначала автобусом ехали 25 км до Чернобыля, в штаб ликвидаторов. Тепло, солнечно, тихо. Свежая майская зелень. Проезжали мимо второпях брошенных деревень. Людей ни души, вдоль дороги ряд деревенских домов, на бельевых веревках стираное белье, во дворах гуляют брошенные куры. Картина мирная и немного жуткая. Вспоминается песня Мери из «Пира во время чумы»:

Было время, процветала
В мире наша сторона:
В воскресение бывала
Церковь божия полна.

Подъезжаем к Чернобылю. Картина на въезде в город: около дороги столик, сидят четверо мужиков в намордниках – угольных противогазах и забивают «козла» в домино. Выглядит жутко, достойно картины Босха. Правда, ничего подобного больше не видел. Люди в городе ходили без противогазов и без марлевых масок.

Штаб в здании горсовета, в конференц-зале. На сцене длинный стол, за ним человек шесть-восемь, принимают оперативные решения, руководят. Самый крайний слева В. П. Брюханов, начальник ЧАЭС, сидит ежедневно, лицо мрачное, суровое. Обратился к нему, кратко рассказал о цели приезда, задачах; он помог организовать нашу поездку: сначала автобусом до пересадки на бронетранспортер, на нем – до самого входа. До бронетранспортера километров пять, а потом на нем до АЭС еще десять. Здание станции длинное, почти километр. Потом коридором до 3-го блока БЩУ (блочный щит управления). Со своими приборами погрузились в БТР. Народ надел «лепестки» – марлевые маски против радиации. Потом мы масками не пользовались, а некоторые ликвидаторы их постоянно на АЭС носили.

Около зала 3-го БЩУ была небольшая пустая комната, там фон 300 мР/ч. Вышли в машинный зал, там уже 700. Поставили самописец, установили трехкомпонентную регистрацию.

На ЧАЭС уже довольно шумно, на улице работали какие-то экскаваторы, сновали люди, хотя там около 1 Р/ч. Зашли в центральный зал – ЦЩУ (центральный щит управления), познакомились с дежурными, а потом постоянно у них находились, пили чай, «шило» (спирт), разговаривали. В 4-й БЩУ ходить запрещено, это около разрушенного блока, высокая радиация.

Вернулись в «Сказочный». Мой сосед-физик, мертвецки пьяный, спал.

Днями раньше кто-то из местных сбегал в 4-й БЩУ и принес оттуда канистру спирта 20 л. Понятно, что никакие медшлюзы не работали, ходили в тех же робах, что давали в «Сказочном». Вообще, в настроении людей был подъем, отчасти это следствие облучения, эйфория. Я эту эйфорию испытал через неделю 14–17 мая, когда был в Москве. Кстати, я от легкого рентгеновского облучения немного загорел, хотя постоянно находился в помещении. А вообще погода стояла теплая, солнечная, небольшой ветер с юга, всю радиацию гнало на север, в Белоруссию.

Поездка в Москву и возвращение в Чернобыль

Наши наблюдения оказались бесполезными: очень шумно. Регистрировали трое суток, решили сменить аппаратуру и методику измерений. Саперы собирались через неделю пробить проход к стенке бассейна-барботера и спустить из него воду. Решили поставить сейсморазведочные датчики прямо под реактор. Пришлось вернуться на несколько дней в Москву и приехать с новой аппаратурой.

В ИФЗ меня просили рассказать о Чернобыле – все-таки очевидец 15 мая выступил с рассказом, в зале было человек сто. Рассказал о пребывании на ЧАЭС, обстановке, делах, все в позитивных тонах. От скользких вопросов уходил, отвечал искренне.

14–17 мая собрал аппаратуру для новых наблюдений. Взял сейсморазведочные приемники СМ-16 чтобы установить их прямо на стенку бассейна, прицементировать алебастром, вывести сигналы в АТС станции и организовать по телефону их передачу в Киев, в Институт геофизики АН УССР. Об этом договорился с начальством ЧАЭС заранее. Вернулся 17 мая в Чернобыль, привез все необходимое, новые приборы. Приехали И. П. Башилов, В. Н. Шулейкин, А. Е. Легат, В. С. Максаков – высококлассные и бесстрашные специалисты. (Креков и Попов немного робели перед радиацией.) Башилов сделал сопряжение сейсмографов с телефонной линией, Шулейкин был водителем на своем микроавтобусе – станции измерения приземного электрического поля, заодно и проводил свои измерения, Легат и Максаков, опытные инженеры-электронщики, обеспечили сейсмический канал.

В 6 м от разрушенного реактора, завершение работ

После саперов местные инженеры поставили в барботер термодатчик, от которого в БЩУ шел кабель. Шли из 3-го БЩУ по транспортному тоннелю, вдоль кабеля. Устанавливали систему втроем: я, Володя Максаков, Андрей Легат. Я, как начальник, имел привилегию идти первым; несли аппаратуру, алебастр, канистру с водой, шли быстро, чтобы сильно не облучиться. Экипировка: резиновые бахилы выше колен, резиновые перчатки, марлевый «лепесток». Установили, вернулись. Всего это заняло 50 минут. У всех нас в резиновых перчатках в пальцах скопился пот, больше 1 см. После успешных тестов вывели сейсмические сигналы в АТС, оттуда по телефону в Киев.

В середине мая в северной части здания ЧАЭС антисанитария, вонь, примерно от ЦЩУ и дальше к четвертому блоку. Все туалеты переполнены и загажены, воды нет, летают тучи мух-дрозофил. В конце мая эта обстановка невыносимо обострилась.

20–25 мая решали технические проблемы: тестировали сейсмическую систему, проводили пробную регистрацию, контроль, подключили ее к телефонной линии ЧАЭС, а 26–28 мая решал бюрократические проблемы с Институтом геофизики АН УССР, доказывал, что это все сделано для Украины. Много помог академик Е. П. Велихов и в этом, и в решении других оргвопросов.

29–30 мая на автомашине вернулся из Чернобыля в Москву. По дороге нашу автомашину неоднократно останавливали антирадиационные посты, измеряли фон автомашины, проверяли документы, последний и самый придирчивый пост в 100 км от Москвы около Обнинска.

Итог

Повторного взрыва на ЧАЭС не было, как мы официально написали в своем заключении. Заактирована с украинцами проведенная работа, им оставлена действующая аппаратура, система приема-передачи сейсмосигналов. Доложили в Курчатовский институт и в Президиум АН СССР о том, что новой катастрофы на ЧАЭС в связи с прожиганием пола реактора четвертого блока не будет.

Эпизод с КГБ

В «Сказочном» меня на улице остановил мужчина:

– Алексей Всеволодович?

– Откуда вы знаете мое имя?

– Мы все знаем. Вы были в Москве, выступали в институте, наговорили лишнее.

Отвечаю, что я хорошо знаком с требованиями секретности и за собой слежу, лишнего никогда не говорю.

– Я и это знаю, в дальнейшем лучше меньше рассказывайте о Чернобыле и будьте осторожнее, примите к сведенью что я сказал.

Сказал и исчез. Значит, после моего выступления кто-то из институтских сексотов на меня настучал, а в КГБ потом это перепроверили и решили не доверять информации.

Главный инженер ЧАЭС

В центральной газете в 1988 г. фотография: В. П. Брюханов (директор ЧАЭС), Н. М. Фомин (главный инженер) и еще кто-то заслушивают приговор суда.

Брюханов сосредоточен и покорен судьбе, Фомин плачет и утирает платком слезы. Брюханов получил 10 лет, Фомин – 8, третий – 6. Брюханов был назначен директором за три месяца до катастрофы, вообще, человек он умный и достойный. О Фомине этого не скажешь. Как-то поздно вечером я ехал с Фоминым из Чернобыля в «Сказочный» на его машине попутчиком. Он три дня как приехал из Парижа, уехал еще до аварии. По дороге хвастал мне, его распирало:

– Ну кто раньше знал Чернобыль? А теперь весь мир. В газетах пишут. Я вот стоял около Славского (министра) сегодня рядом вот как около тебя, – и так далее, всю дорогу. Я слушал и думал: дурак ты дурак, нашел чем хвастать, тебя повесить мало. Брюханова жаль, а этому поделом.

Болезнь

Через три недели, в середине июня со мной приключилась странная болезнь, которую врачи назвали острым пиелонефритом. 15 июня я и Башилов защищали в Средмаше договорной отчет о захоронении радиоактивных отходов. Накануне мне казалось, что заболеваю гриппом. На защите совсем развезло, доклад прошел без энтузиазма, сказал о плохом самочувствии Башилову и В. М. Курочкину, куратору наших работ. Оба, Башилов и Курочкин, друзья-лыжники, мастера спорта, динамовцы. Рядом со зданием МИФИ, где происходила защита, лыжная база «Динамо» с сауной. Они меня решили излечить – сначала попарить, а потом дать стакан спирта с перцем и солью, это помогает, я сам иногда так лечился. Попарился, выпил, стало совсем плохо. Пошел в туалет – моча с кровью. Попросил отвезти домой. Дома сначала температура 38, а к вечеру 40,4 градуса, я такой температуры никогда не видел даже на термометре. Утром вызвали из академической больницы неотложку. Там врачи испугались, анализы плохие, особенно кровь. Положили в урологию, чем-то кололи, какие-то еще лекарства. На четвертый день температура резко упала, почувствовал себя слабым, но здоровым. Болезнь шла нестандартно, резко началась и резко закончилась. На 7-й или 8-й день выписали домой.

Я еще немного отлеживался, меня навещали друзья. Пришел Саша Гангнус, писатель-геофизик, принес экземпляр только что вышедшей его книги «Полигон», где я один из героев почти невымышленной истории под именем Сева Алексеев. «Эх, книга уже вышла, а такая могла бы быть сильная концовка!»

Орден

В ликвидации катастрофы на ЧАЭС Академия наук приняла очень скромное участие. Я оказался почти единственным достойным ордена Трудового Красного Знамени, которым меня наградили. Ученый секретарь академии Н. Д. Скобельцын в торжественной обстановке перечислил мои заслуги и вручил орден. Перед тем мою кандидатуру, как положено, обсуждали на партбюро института. Утвердили со скрипом: беспартийный, не занимается общественной работой, есть и другие недостатки. Недаром на меня «настучали» по поводу выступления о Чернобыле 15 мая 1986 г.

Заключение

В Чернобыльской катастрофе очень много странностей, самых различных. Много необычной информации, документов. Кое-что удивительное, касающееся неслучайности событий, я привез из Новосибирска и показал нашему институтскому особисту Б. А. Ногачеву, разжалованному генерал-лейтенанту КГБ, у меня с ним были добрые отношения. Он все выслушал и сказал только: никому об этом не рассказывайте. Почему? Что он знал или не хотел знать? Я потом узнал еще многое, но молчу.

Моя хорошая знакомая, Марика Квасникова, венгерка, немного, наверное, цыганка, говорила о Горбачеве: пятна на голове – это отметина дьявола, такого бы никогда не назначили руководителем ни в одной порядочной стране, от него будут большие несчастья.

Мой аспирант-узбек из Ташкента Ядгар Шарипов спросил: «Алексей Всеволодович, а почему взрыв в Чернобыле произошел ровно через 20 лет после Ташкентского землетрясения, с точностью до минуты?» Проверил, действительно так. В эзотерической нумерологии 20-летней периодичности почти нет. Действительно, почему такое совпадение, к чему бы?

В Апокалипсисе сказано: *«Третий ангел вострубил, и упала с неба большая звезда, горящая подобно светильнику, и пала на третью часть рек и на источники вод. Имя сей звезде Полынь; и третья часть вод сделалась полынью, и многие из людей умерли от вод, потому что они стали горьки».* А «полынь» по-украински – «чернобыль».

Алексей Всеволодович НИКОЛАЕВ (1934–2019) – выдающийся российский геофизик, специалист в области сейсмологии и теории сейсморазведки, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией экспериментальной геофизики Института физики Земли РАН, член редколлегии нашего журнала.

№ 1(41) ♦ 2020

ЛЮБОВЬ К ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ (К 70-летию М. И. Эпова)

LOVE FOR ELECTRICITY (On 70th anniversary of academician Michail Epov)

Для читателей нашего журнала имя академика Михаила Ивановича Эпова не нуждается в представлении. На протяжении уже нескольких последних десятилетий оно часто упоминается в списках наиболее цитируемых ученых в России и за рубежом в области теоретической и разведочной геофизики, конкретно – по проблемам изучения геологической среды с использованием электромагнитных полей. Фигурирует оно и в списках другого рода: руководителей отечественной науки самого высокого уровня, профессоров многих геолого-геофизических вузов, председателей и членов ученых советов, редакторов и членов редколлегий научных журналов и т. д. и т. п. Одна из полученных им международных премий так и называется – «Имя в науке».

С недавних пор (2019 г.) в ряду научных учреждений, которые довелось возглавлять Михаилу Ивановичу, появился и Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС). Это объясняет, почему наш журнал не мог обойти молчанием столь замечательную дату – 20.03.2020, 70-летний юбилей своего нового главного редактора.

Путь будущего академика в большую науку начался в буквальном смысле во глубине сибирских руд – в небольшом поселке при руднике с совершенно нехарактерным для золотопромысловой лексики названием «Любовь», затерянном в забайкальской глуши, где работал отец-геолог. И начался он в школьные годы с увлечения химией и самостоятельного решения конкурсных задач опубликованных в газете «Комсомольская правда». Результатом стало успешное участие в областной школьной олимпиаде, а затем (в 1965 г.) и приглашение в летнюю школу в новосибирский Академгородок, после которой он был зачислен в недавно открывшуюся ФМШ. Сейчас этот способ выявления и развития юных сибирских талантов стал обычным, но тогда дело было новое и далеко не столь отлаженное. Об этом и о многих других событиях своей биографии Михаил Иванович сам рассказал в недавней статье в журнале «Наука из первых рук»[1]. Учеба давалась трудно, помощи в усвоении сложного материала не было, временами хотелось все бросить. Многие, собственно говоря, и не выдерживали. Мишу уговорил отец, но и он потом, приехав и посмотрев, как живут «фэмэшата», мнение свое переменил: «Здесь у вас настоящая бурса. Наверное, я был неправ: думай сам и выбирай, надо ли тебе здесь учиться». Но наш герой всё выдержал и все школьные премудрости преодолел, причем к концу учебы увлечение химией сошло на нет и уступило место интересу к физике. На нее и была ориентация при выборе дальнейшего образования. Отец же, мнение которого юноша очень уважал, настоятельно рекомендовал геологию. Вот так и родился компромисс, оформившийся в слово «геофизика».

[1] М. И. Эпов. Из глубины сибирских руд // Наука из первых рук. – 2019. – № 3. – С. 60–73.

Но вступить на эту стезю удалось не вдруг. Сначала была неудавшаяся попытка поступить на физфак Ленинградского университета. Возможно, наш абитуриент и не заслуживал двойки за сочинение, но на физфаке ЛГУ в то время были сложности с общежитием, потому к иногородним относились строго. Переждав год на вечернем факультете самолетостроения в иркутском политехе, в 1968 г. выпускник ФМШ все же поступил «на геофизику», но теперь уже в «свой», Новосибирский университет.

Преподавание на геолого-геофизическом факультете было в те годы построено так, что первые два курса геофизики учились вместе с физиками. Преподавателей на зачетах и экзаменах не интересовало, есть у студента приставка «гео» к слову «физик» или нет. При условии преодоления таких суровых требований это гарантировало солидную физико-математическую подготовку. Не всем удавалось, поскольку уровень знаний у выпускников школ был разный (не все учились в ФМШ). Но те, кто добрался до третьего курса, часто получали возможность приобщиться к работе в исследовательских лабораториях базового института (таковым для геофизиков был тогда Институт геологии и геофизики Сибирского отделения АН СССР). Однокурсниками Михаила Ивановича, превозмогшими трудности, и, кстати, соседями по общежитию были такие известные ныне геофизики, доктора наук В. С. Селезнев, А. С. Сальников, А. П. Сысоев.

Серьезная учеба не мешала участвовать в студенческой жизни во всех проявлениях. Студенту Эпову, например, довелось побывать комсомольским секретарем факультета и в этом качестве схлопотать выговор за «идеологические промахи» в стенгазете «Плутония».

Что касается работы в институте, то именно на третьем курсе (1970-й год) ему предложили поучаствовать в исследованиях, которые проводил в лаборатории электромагнитных полей ее заведующий Александр Аркадьевич Кауфман, блестящий геофизик-теоретик. Если сопоставить даты, то получается, что реальная научная работа по избранной специальности началась для Михаила Ивановича именно 50 лет назад – еще один юбилей! В эту же лабораторию он пришел через три года, но уже в должности старшего лаборанта (была такая и для дипломированных специалистов) и будучи, между прочим, главой семьи. Под руководством Кауфмана была начата работа над кандидатской диссертацией, но вскоре Александр Аркадьевич покинул Новосибирск (а затем и СССР), так что тему пришлось менять, выбором новой («Исследование возможностей индукционных фокусирующих систем каротажа при изучении анизотропных пластов») и доведением до успешной защиты (в 1979 г., причем по физико-математическим наукам!) руководил Л. А. Табаровский. С Леонидом Абрамовичем, впоследствии тоже уехавшим из страны, у Михаила Ивановича потом будет еще много совместных публикаций.

В диссертации было дано теоретическое обоснование оригинального метода зондирований, основанного на математическом моделировании электромагнитных полей в нефтяных скважинах с учетом электрической анизотропии горных пород. Результаты были опубликованы, но особого интереса тогда ни у кого не вызвали. Однако исследования продолжились, и это постепенно привело к созданию целого нового направления в каротаже нефтяных скважин в процессе бурения, базировавшегося на высокочастотном зондировании. А когда возникла необходимость наблюдений в наклонных и субгоризонтальных скважинах, то выяснилось, что альтернативы этому методу просто нет. Тем более что существовала уже целая технология, включающая аппаратуру и программное обеспечение для обработки и интерпретации данных измерений. Причем для производства аппаратуры удалось создать специальное предприятие, существующее и в настоящее время и выпускающее геофизическую аппаратуру различного назначения. В программной же реализации ведущую роль играло математическое моделирование электромагнитных полей для сложных моделей геологической среды. И здесь главным действующим лицом являлся и поныне является Михаил Иванович Эпов. Двигаясь и далее по этому пути, ему удалось в докторской диссертации (1992 г.) с использованием численных методов математического анализа обосновать возможность повышения информативности методов индукционного каротажа и разработать алгоритмический аппарат для расчетов.

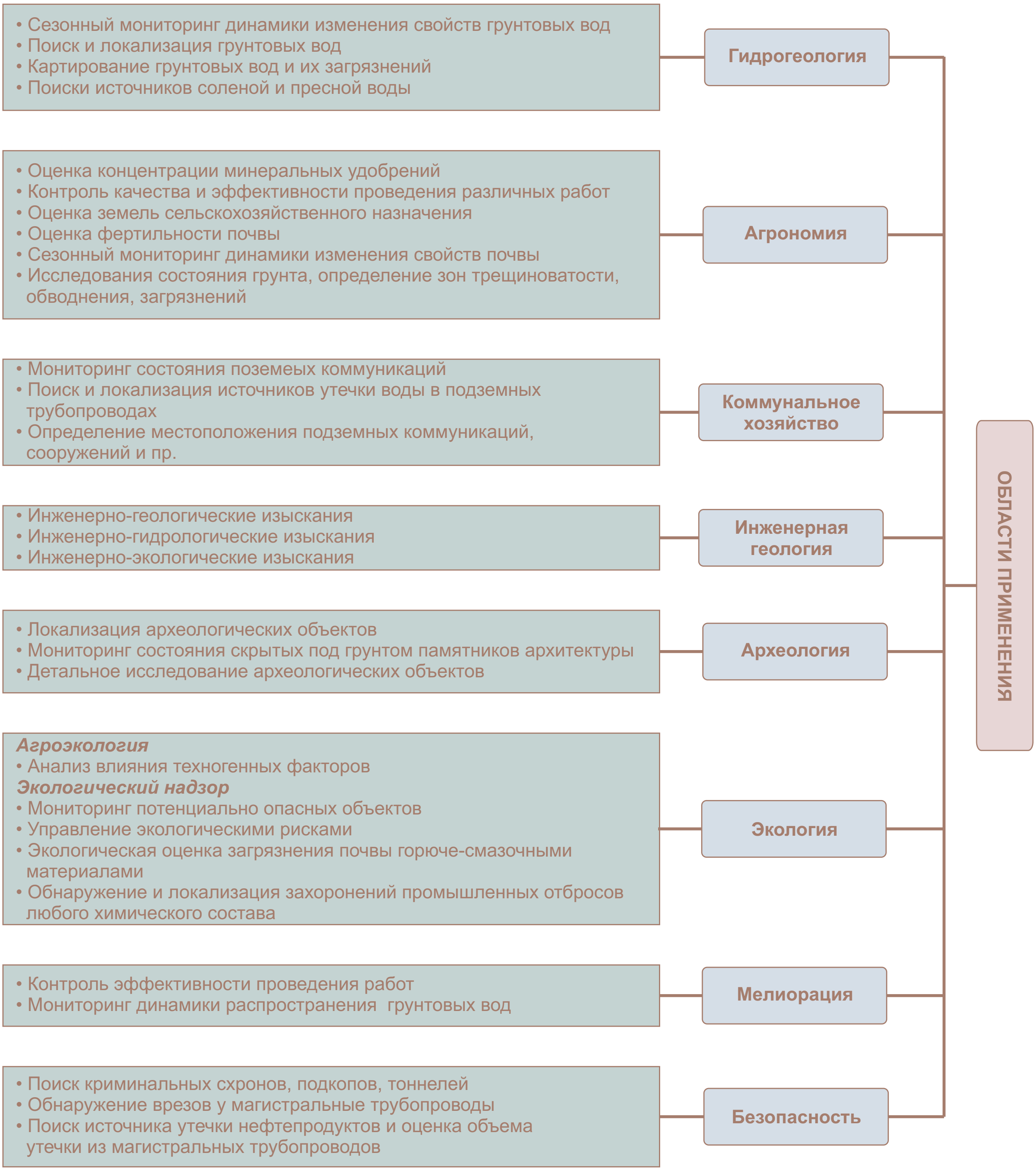
Перечислять все научные разработки и заслуги М. И. Эпова в данной статье не стоит. Во-первых, они и так хорошо известны (более 240 статей, 9 монографий, 24 патента), а во-вторых, в полной мере могут быть должным образом поняты и оценены лишь его коллегами по области исследований, что они и сделали в 2006 г., избрав Михаила Ивановича действительным членом Российской академии наук. Здесь же хотелось бы отметить две самые, на наш взгляд, явные черты, характеризующие результаты его научного творчества.

1. Во его всей деятельности четко прослеживается последовательная «траектория»: от идеи – к теории, от теории – к методу, от метода – к технологии, от технологии – к практике.

2. Под практикой подразумевается прежде всего геолого-разведочная, но, как выясняется, ею дело не ограничивается. В некоторых случаях буквально поражает разнообразие сфер приложения созданных технологий. Например, методика малоглубинного электромагнитного сканирования применяется в самых разных областях (см. рисунок с сайта http://www.posever.ru/prod/4/g_110).

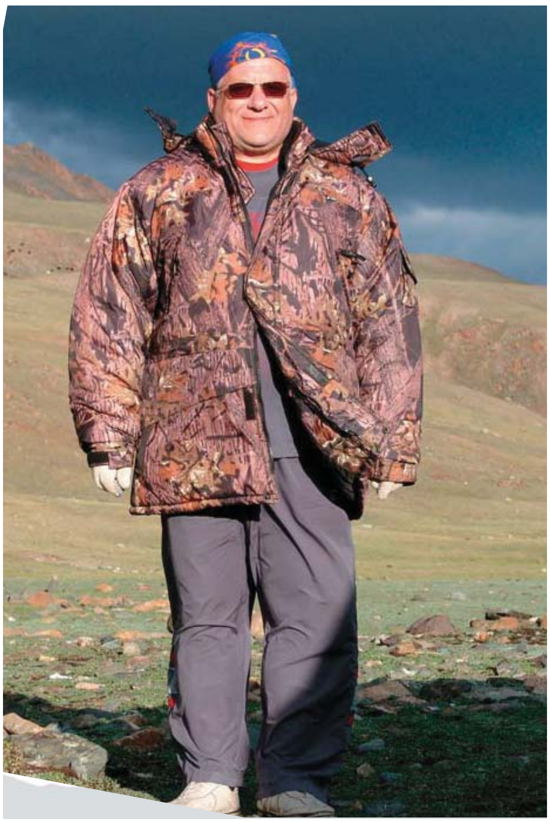
Особенно широкий резонанс в прессе получили результаты взаимодействия геофизиков с археологами, когда при участии команды М. И. Эпова были получены ценные для археологии артефакты.

Достигнув высоких ученых степеней и административно-научных должностей, Михаил Иванович не может не уделять значительного внимания и времени работе, соответствующей такому статусу. Список учеников, ставших под его руководством кандидатами и докторами наук, весьма обширен. У Михаила Ивановича есть свои взгляды на то, как следует готовить специалистов по геофизическим



специальностям, и он стремится воплощать эти взгляды в жизнь, прежде всего в качестве заведующего кафедрой на геолого-геофизическом факультете в родном Новосибирском университете, но еще и как профессор, преподающий в нескольких других сибирских вузах. Так, по его инициативе с 2011 г. на физико-техническом факультете Новосибирского государственного технического университета (НГТУ) открыта новая специализация «Интеллектуальные геофизические системы и приборы». Весьма ответственной является его должность председателя докторского диссертационного совета при ИНГГ СО РАН. Для ученых такого уровня непременным является участие в оргкомитетах различных конференций и в редколлегиях научных журналов. Таких изданий несколько, а двух из них («Геофизические технологии», а с 2020 г. и наш журнал) он главный редактор.

В послужном списке М. И. Эпова весьма ответственные посты: здесь, в Сибири, он был директором Института геофизики СО РАН (2004–2006 гг.), директором ИНГГ СО РАН (2007–2017 гг.), заместителем председателя СО РАН (2008–2017 гг.), до настоящего времени входит в Президиум СО РАН, а в общероссийском масштабе с 2008 г. – заместитель академика-секретаря Отделения наук о Земле РАН. В 2019 г. Михаил Иванович, опытный и успешный деятель академического склада, дал согласие возглавить многопрофильный геологический НИИ отраслевого ведомства – наш СНИИГГиМС. Прошло слишком мало времени, чтобы говорить о чем-то большем, кроме уверенности: здесь все свершения еще впереди. Тем более что сам академик неоднократно высказывал глубокое личное убеждение: наука по сути своей не делится на фундаментальную и прикладную (читай – академическую и отраслевую), такое разделение применимо только к результатам исследований.



По заслугам и награды. Достаточно перечислить только главные, в том числе правительственные: медали ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени (2010 г.) и I степени (2014 г.) Из довольно необычных, но престижных нельзя не отметить Международную премию в области научных исследований «Имя в науке» («The Name in Science»), в 2011 г. присужденная ему Номинационным центром имени Сократа в рамках Международной имиджевой программы «Лидеры XXI века». Премию вручают на Оксфордском саммите лидеров «Наука и образование. Инновационные технологии». Кавалер титула «The Name in Science» получает орденский знак на голубой ленте «За вклад в мировую науку» с барельефом Сократа и надписью «Слава ученому», диплом кавалера титула «The Name in Science», его имя заносится в мировой реестр выдающихся ученых.

Все, что говорилось выше, – это о выдающемся ученом-геофизике, руководителе и педагоге, академике М. И. Эпове. Но есть еще Михаил Иванович Эпов – высокообразованный и весьма эрудированный человек с широким кругом интересов за пределами своей профессии: в культуре, в истории, в литературе.

У него есть по крайней мере два серьезных увлечения в свободное от профессии время. Первое – генеалогия рода Эповых. Этими поисками академик занимается уже более 15 лет. Однажды ему удалось обнаружить книгу «Родъ Эповыхъ» 1899 г. и организовать ее репринтное переиздание. Замысел превратился в большой разветвленный проект, предусматривающий обнаружение новых источников сведений в печатных изданиях и документальных архивах и организацию специальных экспедиций. Работы по проекту координируются и материально поддерживаются самим Михаилом Ивановичем, их ход и результаты отображаются на сайте «Эповы. Наш род» (epov.ru). История прослеживается до XVII века, с прихода в Забайкалье служилых казаков царя Алексея Михайловича. Для участников поисков «наиболее важным является возвращение из забвения и исторического небытия памяти о многих наших предках, вне зависимости от того, какой величины был оставленный ими след», в том числе за пределами России (выясняется, что «эповская диаспора» рассеяна по всем континентам). В списке уже более 5000 установленных имен. Предполагается, что в итоге будет издана обстоятельная, обобщающая все найденные сведения книга по истории рода Эповых.

Совершенно другого рода «гуманитарные раскопки» ведутся Михаилом Ивановичем в библиотечно-архивных и антикварно-букинистических «залежах». Дело в том, что его, интересует не только научная периодика, но и издания иного рода, а именно журналы советского периода любого содержания и тематики. Вот что говорит он сам в уже упоминавшейся в начале очерка автобиографической статье: «За последнее десятилетие мы стали чувствовать, что окружавшая нас многие годы советская действительность уплывает в прошлое, переплавляясь из бытовой в историческую. В моем мироощущении это трансформировалось в интерес к советским журналам, каждый из которых является моментальным снимком части навсегда ушедшего от нас мира».

В коллекции Михаила Ивановича около 900 наименований, среди которых есть не только вполне представляющие литературно-историческую ценность, например имажинистский «Гостиница для путешествующих в прекрасном» начала 1920-х гг., но и совершенно раритетные «артефакты» погребенной эпохи вроде «Красного свиноводства» или «Знамени рабфаковца», а то и «Бюллетеня царицынской чрезвычайной комиссии по борьбе с контрреволюцией и спекуляцией».

Таков сегодняшний, далеко не исчерпывающий портрет нашего юбиляра. Он вступает в возраст, когда накопленные знания и опыт, заработанные имя и авторитет, а также не исчерпанные здоровье и творческие силы позволяют рассчитывать на появление и успешную реализацию новых замыслов и проектов.

Именно этого желает ему и наша редакция, присоединяясь к многочисленным поздравлениям в его адрес из всевозможных государственных, научных, общественных и личных источников.

В. Ф. Свиньин

НАШИ АВТОРЫ

АНДРЕЕВА Екатерина Сергеевна, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, геолог 2-й кат. *E-mail: andreeva.ekaterina.sergeevna@gmail.com*

АСЕЕВ Георгий Евгеньевич, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), Новосибирск, Россия, доцент, к. т. н. *E-mail: aseev@corp.nstu.ru*

БАКШЕЕВ Николай Андреевич, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, вед. геолог. *E-mail: baksheew@mail.ru*

ВЕТРОВ Евгений Валерьевич, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), зав. лабораторией; Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева (ИГМ) СО РАН, Новосибирск, Россия, к. г.-м. н. *E-mail: Vetrovggdnsu@yandex.ru*

ВЕТРОВА Наталья Игоревна, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева (ИГМ) СО РАН, Новосибирск, Россия, мл. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: pisareva.nataly@gmail.com*

ВИШНЕВСКАЯ Ирина Андреевна, Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского (ГЕОХИ) РАН, Москва, Россия, ст. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: vishnevskaia.i.a@gmail.com*

ГОЛОВИНА Екатерина Ильинична, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия, доцент, к. э. н. *E-mail: Golovina_EI@pers.spmi.ru, golovinakate21@gmail.com*

ГУСЕВ Анатолий Иванович, Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В. М. Шукшина, Бийск, Алтайский край, Россия, профессор, д. г.-м. н. *E-mail: anzerg@mail.ru*

ДУШЕНИН Дмитрий Игоревич, Институт экономики и организации промышленного производства (ИЭОПП) СО РАН, науч. сотр.; Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, зав. лабораторией; к. ф.-м. н. *E-mail: dushenin@sniiggims.ru*

ДЬЯЧЕНКО Геннадий Иванович, Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), Новосибирск, Россия, доцент, к. г.-м. н. *E-mail: ienno@yandex.ru*

ЖИМУЛЕВ Федор Игоревич, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева (ИГМ) СО РАН, Новосибирск, Россия, зав. лабораторией, к. г-м. н. *E-mail: zhimulev@gmail.com*

ЗАПИВАЛОВ Николай Петрович, Институт нефтегазовой геологии и геофизики (ИНГГ) им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия, гл. науч. сотр., проф., д. г.-м. н. *E-mail: ZapivalovNP@ipgg.sbras.ru*

ЗЛОБИНА Ольга Николаевна, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука (ИНГГ) СО РАН, Новосибирск, Россия, ст. науч. сотр. к. г.-м. н. *E-mail: Zlobina@ngs.ru*

ИСАЕВ Александр Васильевич, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, вед. эксперт, к. г.-м. н. *E-mail: lis@sniiggims.ru*

КИРИЛЛОВ Максим Васильевич, Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева (ИГМ) СО РАН, Новосибирск, Россия, науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: kirillovm@ngs.ru*

МИЛЯЕВ Дмитрий Владимирович, Институт экономики и организации промышленного производства (ИЭОПП) СО РАН, науч. сотр.; Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия, нач. отдела; к. э. н. *E-mail: mdv@sniiggims.ru*

НИКОЛАЕВ Алексей Всеволодович, Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, д. ф.-м. н, чл.-кор. РАН, Москва, Россия

ПОЛЯКОВ Андрей Александрович, АО «Нефтегазхолдинг», Москва, Россия, вице-президент. *E-mail: Andrey.Polyakov@ipc-oil.ru*

ПРЕДТЕЧЕНСКАЯ Елена Андреевна, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, вед. науч. сотр., д. г.-м. н. *E-mail: predel@sniiggims.ru*

РАДОМСКАЯ Валентина Ивановна, Институт геологии и природопользования (ИГиП) ДВО РАН, Благовещенск, Россия, вед. науч. сотр., к. х. н. *E-mail: radomskaya@ascnet.ru*

РАДОМСКИЙ Сергей Михайлович, Институт геологии и природопользования (ИГиП) ДВО РАН, Благовещенск, Россия, науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: rsm@ascnet.ru*

СТАМБЕРСКИЙ Алексей Александрович, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, инженер-геолог 2-й кат. *E-mail: alexstam@mail.ru*

УВАРОВ Александр Николаевич, Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, Россия, вед. геолог. *E-mail: uvarov_an_1946@mail.ru*

ХЛОПОНИНА Вера Сергеевна, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия, гл. учен. секр., к. э. н. *E-mail: Khloponina_VS@pers.spmi.ru*

ЧЕРВЯКОВСКАЯ Мария Владимировна, Институт геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого (ИГГ) УрО РАН, Екатеринбург, Россия, мл. науч. сотр. *E-mail: zaitseva.mv1991@gmail.com*

OUR AUTHORS

ANDREEVA Ekaterina, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: andreeva.ekaterina.sergeevna@gmail.com*

ASEEV Georgiy, PhD, Associate Professor, Novosibirsk State Technical University (NSTU), Novosibirsk, Russia. *E-mail: aseev@corp.nstu.ru*

BAKSHEEV Nikolay, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: baksheew@mail.ru*

CHERVYAKOVSKAYA Mariya, A.N.Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry (IGG) UB RAS, Ekaterinburg, Russia. *E-mail: zaitseva.mv1991@gmail.com*

DUSHENIN Dmitry, PhD, Institute of Economics and Industrial Engineering (IEIE) of SB RAS, Siberian Resaearch Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: dushenin@sniiggims.ru*

DYACHENKO Gennadiy, PhD, Associate Professor, Novosibirsk State Technical University (NSTU), Novosibirsk, Russia. *E-mail: ienno@yandex.ru*

GOLOVINA Ekaterina, PhD, Associate Professor, Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia. *E-mail: golovinakate21@mail.ru*

GUSEV Anatoliy, DSc, Prof., Shukshin Altai State Humanities Pedagogical University, Biysk, Altai Kray, Russia. *E-mail: anzerg@mail.ru*

ISAEV Alexander, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: lis@sniiggims.ru*

KHLOPONINA Vera, PhD, Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia. *E-mail: Khloponina_VS@pers.spmi.ru*

KIRILLOV Maksim, PhD, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: kirillovm@ngs.ru*

MILYAEV Dmitriy, PhD, Institute of Economics and Industrial Engineering (IEIE)of SB RAS, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: mdv@sniiggims.ru*

NIKOLAEV Aleksey, DSc, O.Yu.Shmidt Institute of Physics of the Earth, Moscow, Russia

POLYAKOV Andrey, AO Neftegazkholding, Moscow, Russia. *E-mail: Andrey.Polyakov@ipc-oil.ru*

PREDTECHENSKAYA Elena, DSc, Siberian Research Institute of Geology, Geophysica and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: predel@sniiggims.ru*

RADOMSKAYA Valentina, PhD, Institute of Geology and Nature Management, Far East Branch of RAS (IGNM), Blagoveshchensk, Russia. *E-mail: radomskaya@ascnet.ru*

RADOMSKIY Sergey, PhD, IInstitute of Geology and Nature Management, Far East Branch of RAS (IGNM), Blagoveshchensk, Russia. *E-mail: rsm@ascnet.ru*

STAMBERSKIY Aleksey, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: alexstam@mail.ru*

UVAROV Alexandr, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: uvarov_an_1946@mail.ru*

VETROV Evgeniy, PhD, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail: Vetrovggdnsu@yandex.ru*

VETROVA Natalya, PhD, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: pisareva.nataly@gmail.com*

VISHNEVSKAYA Irina, PhD, V.I.Vernandsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of RAS, Moscow, Russia. *E-mail: vishnevskaia.i.a.@gmail.com*

ZAPIVALOV Nikolay, DSc, Prof., A.A.Trofimuk Institute of petroleum geology and geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: ZapivalovNP@ipgg.sbras.ru*

ZHIMULEV Fedor, PhD, V.S.Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (IGM) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: zhimulev@gmail.com*

ZLOBINA Olga, PhD, A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS, Novosibirsk, Russia. *E-mail: Zlobina@ngs.ru*

Подписано в печать 15.03.20. Формат 60×84/8. Бумага офсетная 80 г/м^2. Печать цифровая.
Тираж 100 экз. Гарнитура Calibri. Объем 14,6 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