

А. А. ДЗЮБА

ГИДРОТЕРМЫ БАЙКАЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ И ПЛАТФОРМЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Проведен сравнительный анализ динамики флюидов (эндогенных вод, углеводородных газов, азота, гелия и других компонентов) в складчатой области и на платформе. Установлено, что рассолы с аномально высокой температурой поступают из кристаллического фундамента, а углеводороды имеют неорганическое происхождение.

A comparative analysis is made of the dynamics of fluids (endogenous waters, hydrocarbon gases, nitrogen, and of other components) in the folded region, and on the platform. It is found that the brines with anomalously high temperature arrive from the crystalline basement, while the hydrocarbons are of inorganic origin.

В горно-складчатых сооружениях Прибайкалья широко распространены гидротермы, связанные с разломами и проявляющиеся в виде восходящих родников. Их температура колеблется от нескольких до 70–85 °С. В межгорных впадинах, выполненных нормально-осадочными отложениями, гидротермы формируют напорные водоносные горизонты и очаги подземных вод, температура которых повсеместно выше, чем пород фундамента. Нередко напорные гидротермы впадин изливаются на земную поверхность, где испарение превышает норму осадков. Благодаря аридным условиям здесь формируются минеральные озера, резко возрастает соленасыщенность вод.

Наиболее выраженным примером такого преобразования подземных вод могут служить минеральные озера Баргузинско-Чивыркуйского перешейка (рис. 1), где вблизи горных сооружений п-ова Св. Нос широко известны родники Кулиные Болота. Они представлены серией грифонов, вокруг которых образовались многочисленные минеральные озера, распространяющиеся далеко на юго-запад вдоль зоны разлома, идущей по предгорьям полуострова. В этих озерах подземные воды разгружаются в виде открытых, скрытых, рассеянных и субаквальных родников. Типичные признаки минеральных озер — почти бессточный водный режим, широкое распространение болот, накопление мощной массы минерального вещества, развитие кочкарника, осоки и т. п. Их очертания, как правило, круглые, овальные, глубина от 0,5 до 5,0 м, площадь преимущественно от нескольких десятков до 200–300 м², а самых крупных — 2000–2500 м².

По химическому составу воды минеральных озер в большинстве своем сульфатные натриевые. Однако в сезоны активного поступления атмосферных осадков в них повышается содержание гидрокарбоната натрия, и периодически эти компоненты могут оказаться на первом месте. Повышенное содержание сульфат-ионов в гидротермах нередко объясняют окислением сульфидных минералов — пирита, сфалерита и др. Более верно, по-видимому, мнение, которое допускает, что сера поступает из верхней части земной коры. Ниже, по мере роста температуры, получает развитие зона хлоридных натриевых флюидов. В связи с этим небезынтересно, что в минеральных водах озер перешейка наблюдаются повышенные содержания хлора, фтора (10–18 %-экв.), кремниевой кислоты (50–70 %-экв.), что позволяет предполагать их миграцию с больших глубин.

Температура воды на поверхности минеральных озер 20–30 °С. Как показывает детальный температурный срез на одном из них, приуроченном к тектонически активной трещине, уже на глубине 0,5 м она поднимается до 55–65 °С, а максимальное зафиксированное значение на этом срезе достигает 71 °С.

О восходящих процессах свидетельствует и такой факт, что некоторые реки перешейка подпитываются горячими подземными водами, не замерзают или покрываются льдом только на небольшой промежуток времени. Одна из таких незамерзающих рек течет в западной части перешейка. В долине этой реки повсеместно наблюдаются выходы теплых родников, содержащих сероводород. Подток с больших глубин подтверждается аномально высоким содержанием в речной воде кремниевой кислоты (22 мг/дм³).

Обширное минеральное озеро на перешейке включает акватории Бормашового и нескольких других, тяготеющих к нему озер, расположенных вблизи устья р. Баргузин и образующих линейно вытянутую цепочку. Их водная поверхность изменчива и находится на уровне Баргузинского залива, выше или ниже его примерно на один метр. Периодически здесь наблюдаются переклесты вод залива

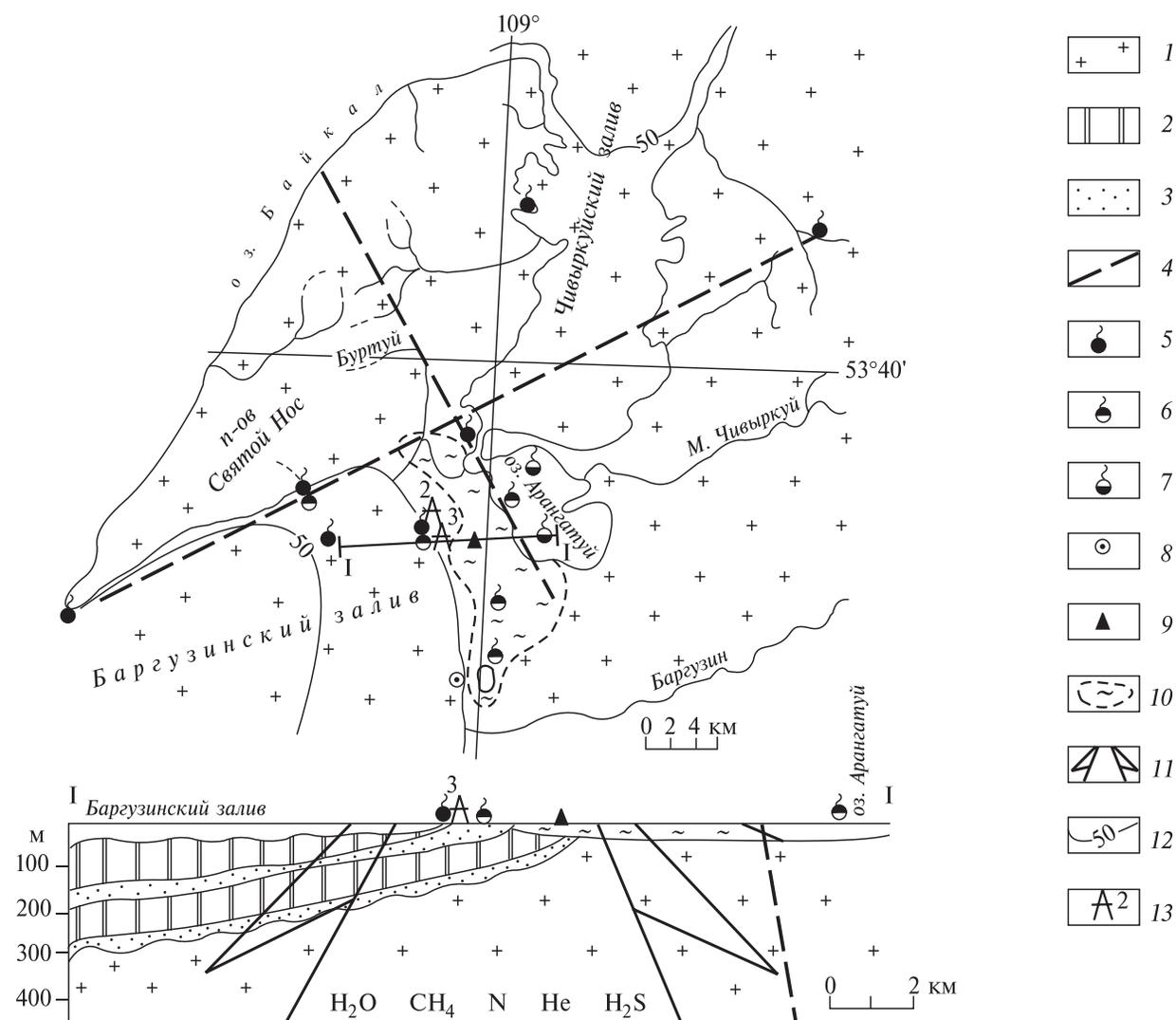


Рис. 1. Проявление эндогенных вод минеральных озер и углеводородных газов на Баргузинско-Чивыркульском перешейке.

1 — кристаллические породы; 2 — плотные песчаники, глины (покрышки); 3 — рыхлые пески (коллекторы); 4 — разломы; 5 — термальные родники; 6 — выходы газов; 7 — пропарины; 8 — нефтепроявления (пленки нефти, озокерит); 9 — грязевые вулканы; 10 — ареал минеральных озерных натриевых термальных вод; 11 — направление движения флюидов; 12 — изогипсы глубины заливов, м; 13 — скважины и их номера.

в озера. Возможна подземная фильтрация через глинисто-песчаные породы с линзами галечника и гравия. Поскольку оз. Арангатуй на 0,5–0,8 м выше описываемых озер, от него отмечается поверхностный сток, отчетливо выраженный в сезоны снеготаяния и обильных дождей.

Соленасыщенность этих озер выше, чем в Баргузинском заливе. Так, содержание солей в воде оз. Бормашового колеблется примерно от 1 до 2–3 г/дм³ — это при условии, что озеро расположено на открытом пространстве, вдали от гор, где нет предпосылок для усиленного испарения влаги. Площадь озера — 1,3 км², глубина — около 2 м. Бормашовая группа озер располагается на линии новейших, современных опусканий, приуроченных к узлам пересечения субмеридиональных и северо-восточных разломов, по которым происходит подток глубинных вод. На глубинность подтока указывают проявления сероводорода, углеводородных газов, высокое содержание кремнезема в донных отложениях.

Рассматривая современные эндогенные процессы, нельзя не обратиться к образованию пропарин на Байкале. Они формируются преимущественно за счет восходящих потоков газов и термальных вод, о чем свидетельствует широкое распространение на Байкале кристаллогидратов и скрытых гидротермальных аномалий. Интересны пропарины прол. Ольхонские Ворота. При сильных морозах толщина льда в них всего 20–30 см. В средней части пролива пропарины нередко образуют вытянутые полыньи длиной в несколько сотен метров. В проливе целесообразно особо выделить бухту Заг-

ли, которая на 5 км внедряется на территорию о. Ольхон. Крайняя северо-восточная часть бухты отделена узкой песчаной косой, где сформировалось одноименное озеро — Загли [1]. Дно его центральной части выполнено коричневым и черным илом. Здесь же наблюдается газирование с запахом сероводорода. Благодаря сульфат-ионам и натрию общая соленасыщенность озерной воды в два-три раза превышает минерализацию байкальской.

Гусиноозерская группа минеральных озер расположена в мезозойско-кайнозойской впадине. Состав приповерхностной, преобладающей по мощности водной толщи оз. Гусино гидрокарбонатный кальциевый, аналогичный таковому впадающих в него рек. Химический состав воды придонного слоя преимущественно хлоридный натриевый с минерализацией 5–7 г/дм³. Хлоридный натриевый состав воды имеют также небольшие минеральные озера на северо-восточном и юго-западном побережьях оз. Гусино. Более того, в оз. Селенгинском под слоем хлоридной натриевой рапы находится пласт мирабилита и галита мощностью до трех метров.

На юге Сибирской платформы условия проявления гидротерм существенно отличны от прибайкальских и менее изучены. Проявления гидротерм, подобных прибайкальским, известны только на Алданском щите — в области обнажения кристаллического фундамента. Очаги разгрузки сложены мраморизованными известняками нижнего протерозоя. Одним из выводящих каналов служат узлы пересечения субмеридионального (долина Олёмки) и северо-западного разломов. В долине Олёмки родники приурочены к правобережной пойме р. Тунгурча (1,2 км выше устья). К северу и к югу от линейных выходов терм находятся отдельные разрозненные родники с температурой вод 40–45 °С. Общая протяженность очага разгрузки вдоль долины Олёмки около 800 м при ширине от 30 до 120 м, а средний солевой состав таков:

$$M_{0,3-0,5} = \frac{SO_4 45 - 60Cl 25 - 40HCO_3 10 - 15}{Na 50 - 70Ca 25 - 30Mg 3 - 5} pH 7,5 - 8.$$

В наиболее высокотемпературных водах содержание хлора достигает 80 мг/дм³, кремниевой кислоты — 220, сульфат-ионов — 100, фтора — 9 мг/дм³. Состав растворенных газов следующий (объем.%): азот — 99,0; метан — 0,5; углекислый газ — 0,2; аргон — 0,9; гелий — 0,0075. Отмечается запах сероводорода.

Во внутреннем поле юга Сибирской платформы кристаллические породы фундамента располагаются на глубине двух-трех километров. Непосредственно на фундаменте лежат терригенные отложения (50–150 м), выше наблюдается чередование доломитов, известняков и каменной соли. Суммарная мощность последней составляет 35–45 % мощности осадочных пород. Возраст осадочного покрова в целом позднедокембрийский—нижнепалеозойский. Правда, Присянская впадина выполнена, кроме того, маломощной толщей (100–500 м) юрских угленосных песчаных отложений.

И терригенные, и карбонатные позднедокембрийские—нижнепалеозойские породы преимущественно плотные высоколитифицированные. Кварцевые песчаники с хорошо окатанной обломочной частью образуют маломощные (10–100 м) продуктивные (на нефть, газ, рассолы) горизонты. Наиболее выдержан из них парфеновский горизонт. Улучшение коллекторских свойств наблюдается и в межсолевых карбонатах (осинский, балыхтинский и другие горизонты). Проявление трещиноватости в них хорошо выражено. В разломах гидрогеодинамика наблюдается через каменную соль, ее можно проследить по многочисленным розовым, бурым, черным, зеленоватым вертикально ориентированным прожилкам.

Во внутреннем поле выявлены уникальные для платформы рассолы с аномально высокой температурой, которая выше, чем поверхности фундамента. В нижнеудинской скважине такие рассолы вскрыты в подсолевой толще осадочного покрова (3218–3222 м). При температуре пород 58 °С, замеренной с помощью термокаротажа, температура рассолов в пробоотборнике составила 67 °С. В балыхтинской скважине 5-р, по данным А. С. Анциферова, самоизлив рассолов начался в момент вскрытия балыхтинского горизонта (1122–1130 м). Температура рассола составляла 40,7 °С (замерялась дважды), в то время как в породах горизонта она не превышала 25 °С.

Благодаря большому объему буровых работ зафиксировано достаточно много гидротермальных аномалий, по существу, рассеянных в пределах всей платформы. Только на Ангаро-Ленском куполовидном поднятии известно не менее 50 подобных аномалий, в Присянской впадине — 30 [2].

Кроме гидротерм поучителен также совместный анализ закономерностей нефтегазоносности в Прибайкалье и на юге Сибирской платформы. Происхождение углеводородов в Прибайкалье исследуется давно и рассматривается с самых разных точек зрения. Особый интерес представляет район Усть-Селенгинской депрессии (УСД) и Баргузинско-Чивыркуйский перешеек (БЧП) Байкальской впадины.

В УСД пробурено множество мелких (100–150 м) и одиннадцать глубоких (2–3 км) скважин. В настоящее время составлена полная сводка проявлений газов и нефти на земной поверхности и в скважинах, дана оценка прогнозных ресурсов и разгрузки метана [3]. Анализ газов позволил установить некоторые особенности их состава. В менее погруженных окраинных частях депрессии преоб-

ладают азотные и кислотные газы с незначительным содержанием метана. Во внутреннем поле депрессии картина обратная.

С позиций органической гипотезы формирование залежей происходит в результате латеральной миграции. В многокилометровом разрезе (5–7 км) осадочного покрова УСД такой процесс логичен. Иная картина наблюдается на БЧП. В строении перемычки отчетливо выделяются два крупных блока: северо-восточный (чивыркуйский) и юго-западный (баргузинский). Мощность четвертичных рыхлых осадков чивыркуйского блока небольшая — первые десятки метров. Преимущественно это береговые наносы р. Мал. Чивыркуй. Мощность осадочных отложений баргузинского блока несколько больше и достигает первых сотен метров. Они представлены чередованием пластов песка, глин, ила.

При любых оценках БЧП находится в зоне активного водообмена с резко окислительной обстановкой. Отложения его не являются нефтематеринскими, но проявления углеводородных газов в них достаточно интенсивны. В четырех из пяти мелких скважин, пробуренных еще в 1905–1906 гг., наблюдалось неоднократное «кипение» бурового раствора. В скв. 3 при достижении 140 м произошел полный выброс инструмента. Такие события возможны при значительных ресурсах углеводородных газов.

На БЧП отмечаются специфические образования, которые следует отнести к «грязевым вулканам» [4]. Они имеют вид конусов высотой 0,5–3 м, диаметром основания 1–5 м и жерлом глубиной 1–2 м. Из жерла фонтанируют подземные воды, грязь, азотно-углеводородные газы. Их поступление периодическое — длительные стадии накопления газов и воды чередуются с кратковременным фонтанированием. Подземные воды грязевых вулканов сульфатные натриевые термальные, что указывает на их глубинность. Грязь сопок по химическому составу аналогична минеральному веществу, выносимому гидротермами. Поступление их по молодым разломам из кристаллического фундамента очевидно. Наиболее крупные разломы имеют северо-восточное и субмеридиональное простирание.

Миграция углеводородов со стороны Байкальской впадины вокруг п-ова Св. Нос невозможна. Очевидно, они поступают из фундамента и имеют неорганическое происхождение.

Недра Сибирской платформы весьма закрытые. Это объясняется тем, что в разрезе осадочного покрова преобладают плотные слабопроницаемые терригенно-карбонатные и галогенные отложения, а пласты-коллекторы представлены редкими прослоями, составляющими не более трех процентов общей мощности разреза. Большое экранирующее значение придается каменной соли, которая представляет надежный водоупор, исключающий возможность межпластового движения подземных вод. Со временем было установлено, что в зонах разломов такое понимание гидрогеологических условий на платформе не совсем верно. Особенно показательным в этом отношении Марковское нефтегазовое месторождение [5], где галогенная толща залегает в виде линзовидных дисгармоничных тел с резко переменной мощностью (рис. 2).

В области свода Марковского поднятия произошло существенное отжатие соли: здесь нет мощных соляных пластов, они тонки и рассеяны среди карбонатов. В своде поднятия содержание соли не превышает 300–400 м (скважины 1-0, 8, 15, 22, 49, 61), а в некоторых случаях даже трех метров (скв. 5). Пласты жестких карбонатных пород образуют мелкую складчатость с крутопадающими или подвернутыми крыльями, складки смещены относительно друг друга. Пласты разбиты крутопадающими поперечными и продольными сбросами и взбросами значительной амплитуды. Например, в скв. 1 вертикальное смещение кровли усольской свиты составляет около 1000 м. Ширина зоны тектонически сильно нарушенных пород 2–3 км.

Интенсивная трещиноватость карбонатных пород и сокращение мощностей каменной соли позволяют предполагать образование каналов миграции и стимулирование гидродинамических процессов. Рассолы с повышенной температурой отмечались на глубинах 50–300 м. При их вскрытии происходили засолонение пресного бурового раствора и периодический самоизлив воды с температурой 30–40 °С, а возможно и выше. Для сравнения следует отметить, что по термометрическому каротажу температура пород, залегающих у поверхности фундамента на глубинах 2600–2700 м, составляет 25–30 °С.

Подтверждением активного водообмена в недрах могут служить находки киновари в присводовой части западного крыла Марковского поднятия, представленные неокатанными толстоплитчатыми зернами. Как известно, этот минерал хрупок, неустойчив в экзогенных условиях, плохо транспортируется, поэтому объяснить его происхождение привносом из Байкальской складчатой области очень трудно. Видимо, эти проявления находятся вблизи коренного залегания и связаны с современным гидротермальным оруденением.

Об условиях разгрузки подземных вод свидетельствуют морфология и положение в разрезе столба прогретых пород. В горизонтальной плоскости гидротермальные аномалии локальны, линейно вытянуты и распространены строго в зоне нарушения: в вертикальном направлении они охватывают весь чехол, а также поверхность фундамента. Это указывает на преобладание вертикальной раскрытости и подтверждает тот факт, что глубина движения подземных вод не ограничена, они пронизывают весь разрез осадочного чехла.

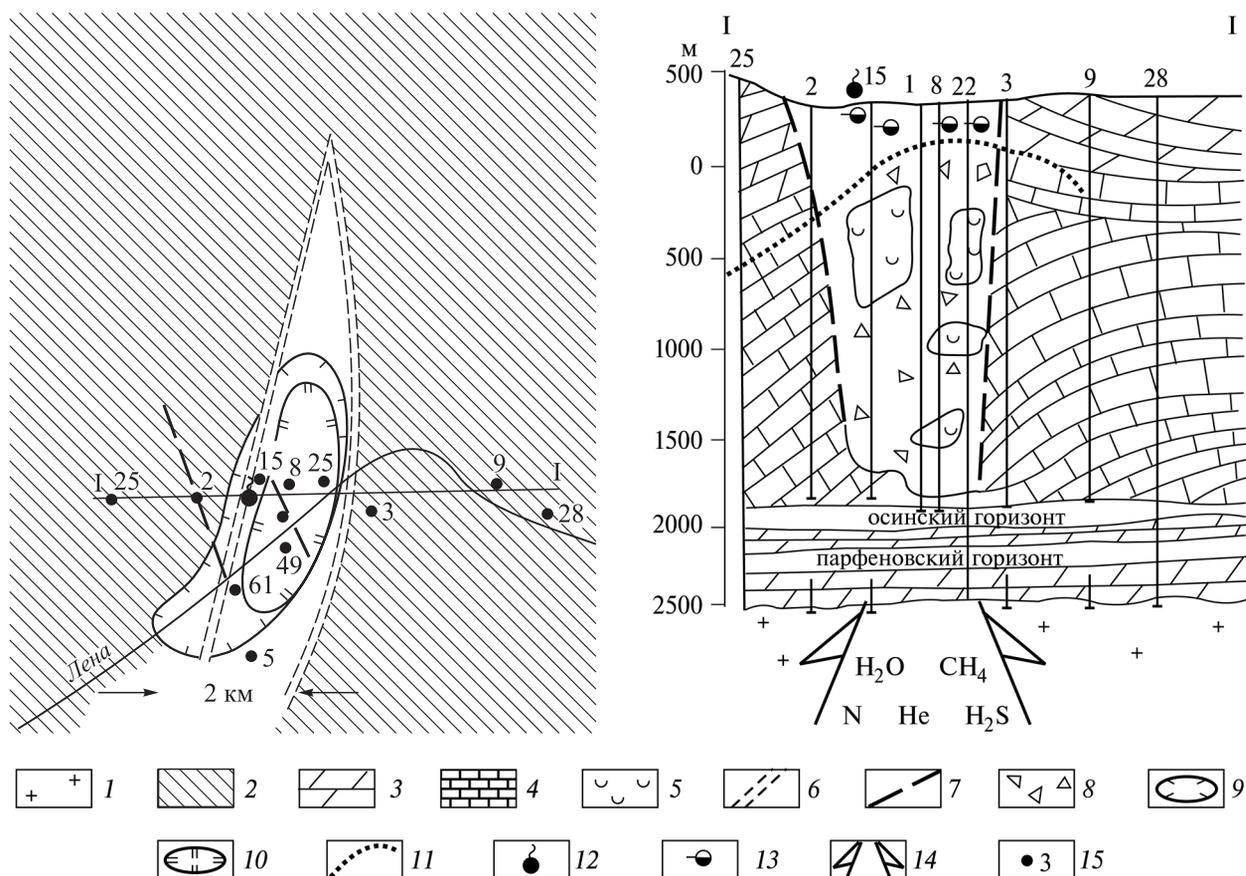


Рис. 2. Проявления эндогенных рассолов на Марковском нефтегазовом месторождении.

1 — кристаллический фундамент; 2 — слабодислоцированные участки осадочного покрова; 3 — терригенные породы; 4 — переслаивание плотных слабо дислоцированных карбонатных пород и каменной соли; 5 — линзы и блоки каменной соли; 6 — тектоническое нарушение и границы зон повышенной раздробленности пород; 7 — разломы в фундаменте; 8 — максимально дислоцированные брекчиевидные карбонатные породы; 9 — контуры высокопродуктивной промышленной газовой залежи в парфеновском горизонте; 10 — контуры высокопродуктивной промышленной нефтяной залежи в осинском горизонте; 11 — изотерма пород 15 °С; 12 — родник хлоридных натриевых вод; 13 — рассолы с аномально высокой температурой воды; 14 — направление движения флюидов; 15 — глубокие скважины и их номера.

Таким образом, проведенный сравнительный анализ динамики флюидов в складчатой области и на платформе позволяет предположить их единый генезис. Углеводороды поступают из кристаллического фундамента и имеют неорганическое происхождение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекман М. Ю. Озеро Загли-Нур // Исследования Малого моря: Труды Байкал. лимнол. станции. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1959. — Т. 17.
2. Дзюба А. А. Разгрузка рассолов Сибирской платформы. — Новосибирск: Наука, 1990.
3. Исаев В. П. О газовом палеовулканизме на Байкале // Геол. нефти и газа — 2001. — № 5.
4. Дзюба А. А., Кулагина Н. В., Абидуева Т. И., Черных А. Л. Минеральные озера Баргузинско-Чивыркуйского перешейка // География и природ. ресурсы. — 2002. — № 2.
5. Дзюба А. А. К вопросу о взаимосвязи Марковского нефтегазового месторождения с очагом разгрузки глубинных подземных вод // Подземные воды Сибири и Дальнего Востока. — М.: Наука, 1971.

Институт земной коры СО РАН,
Иркутск

Поступила в редакцию
12 мая 2006 г.