South Baikal $^{234}U/^{238}U$ tracer in groundwaters of active faults in Irkutsk Prebaikalia

Южно-Байкальский $^{234}U/^{238}U$-трассер в подземных водах активных разломов Иркутского Предбайкалья

Рассказов С.В.[1,2], Чувашова И.С.[1,2], Борняков С.А.[1,2], Чебыкин Е.П.[1,3], Ильясова А.М.[1], Оргильянов А.И.[1], Бадминов П.С.[1], Крюкова И.Г.[1], Семинский А.К.[1], Попов Е.П.[1], Коваленко С.Н.[2]

[1]Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, rassk@crust.irk.ru

[2]Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

[3]Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследований – трещинные подземные воды активных разломов южной деформированной части Сибирского палеоконтинента и аккретированного к нему Хамардабанского террейна. Центральное положение на территории занимает полоса архейских и палеопротерозойских метаморфических и магматических пород Шарыжалгайского выступа кристаллического фундамента, протягивающаяся в направлении на запад-северо-запад, и параллельная этому поднятию полоса пород осадочного чехла неопротерозоя, нижнего кембрия, юры и плиоцена-квартера в Прииркутской впадине Сибирской платформы. Породы фундамента надвинуты на породы осадочного чехла по Ангарскому надвигу (рис. 1). Иркутское Предбайкалье относится к 8–9-балльной сейсмической зоне. Параметр ОА4/8 в подземных водах меняется в зависимости от активности разломов. Наряду с деформационным эффектом, в подземных водах проявлен эффект возрастания ОА4/8 вследствие химического взаимодействия подземных вод с эвапоритами осадочного чехла Сибирской платформы.

В работу вовлечено более 1000 проб, отобранных из родников и скважин в 2012–2020-х гг.

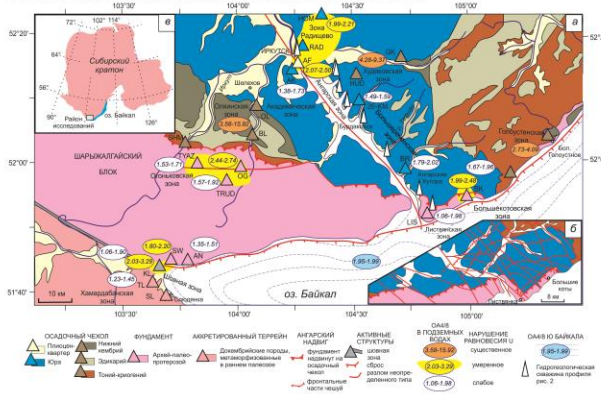

Рис. 1. Схема зональности ОА4/8 подземных вод в Иркутском Предбайкалье.
На врезке 6 показаны разломы в районе пос. Листвянка [Zattarev et al., 1983], а на врезке в – местоположение района работ на юге Сибирского кратона. Цветовым условным обозначениям разновозрастных пород соответствуют треугольные обозначения мест опробования подземных вод: из плиоцен-четвертичных отложений вдоль долины р. Ангара, заложенной по Ангарскому разлому (AF); из юрских отложений правобережья р. Ангара – Хомутово (HOM), Радищево (RAD), 26-й километр Листвянского тракта (26-KM), Большая Речка (BR); левобережья р. Ангара – Академгородок (AK); из отложений неопротерозоя и нижнего кембрия – Хуйнково (HUD), Горячий Ключ (GK), Олха (OL), Большой Луг (BL), Шаманский мыс (SHM); из фундамента Сибирской платформы – Тещин Язык (TYAZ), Огоньки (OG), Трудный (TRUD), Свифт (SW), Ангасолка (AN), Листвянка (LIS); из шовной зоны между фундаментом Сибирской платформы и Хамардабанским террейном – Куртун (KL); из Хамардабанского террейна – Талая (TL), Слюдянка (SL).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пробы воды, отобранные в трех точках Южного Байкала с глубин от первых м до 1000 м, дали минеральные интервалы ОА4/8 = 1.95–1.99 и [U] = 0.44–0.46 мкг/дм^3 (с повышением в отдельных пробах [U] до 0.53 мкг/дм^3). Для этих же проб определены значения изотопного отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ = ~0.70863 (частично в расширенном диапазоне 0.70850–0.70885) и концентраций стронция [Sr] = 98–100 мкг/дм^3. U–Sr-изотопная систематика, с одной стороны, дает эталон однородного глубинного резервуара Южного Байкала, с другой стороны, служит чувствительным индикатором загрязнения поверхностных и прибрежных вод озера, которая выражается в расширении диапазонов концентраций и изотопных отношений U и Sr относительно значений однородного глубинного ЮБР (рис. 2).

По полученным данным обозначаются латеральные и вертикальные гидроизотопные зоны с химическим и деформационным эффектами. Первый эффект выражен в существенном возрастании ОА4/8 минерализованных подземных вод из эвапоритовых толщ осадочного чехла Сибирской платформы в трех латеральных зонах: Олхинской (неопротерозойско-нижнекембрийские отложения, ОА4/8 = 3.58–15.92), Худяковской (кембрийские отложения, перекрытые юрскими отложениями, ОА4/8 = 4.28–9.37) и Голоустенской (неопротерозойские отложения, ОА4/8 = 2.73–4.09) (рис. 3).

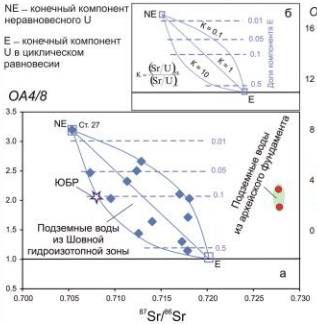

Рис. 2. ОА4/8–$^{87}Sr/^{86}Sr$ система смешения подземных вод из мелкотоков Шовной гидроизотопной зоны.

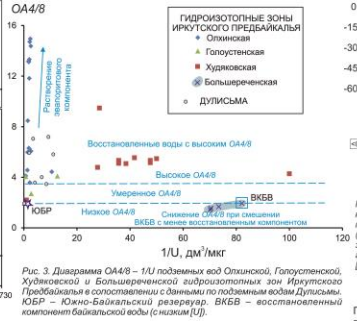

Рис. 3. Диаграмма ОА4/8 – 1/U подземных вод Олхинской, Голоустенской, Худяковской и Большереченской гидроизотопных зон Иркутского Предбайкалья в сопоставлении с данными по подземным водам Дулисьмы. ЮБР – Южно-Байкальский резервуар. ВКБВ – восстановленный компонент байкальской воды (с низким [U]).

Второй эффект проявлен в умеренном возрастании ОА4/8 пресных вод из активных разломов, рассекающих породы пяти зон: Ангарской и Радищево (юрские и плиоцен-четвертичные отложения, ОА4/8 = 2.07–2.50 и 1.99–2.21, соответственно) (рис. 4), Большекотовской и Огоньковской (метаморфические и магматические породы раннего докембрия, ОА4/8 = 1.67–2.48 и 1.53–2.74, соответственно) и Шовной (милониты между фундаментом Сибирского палеоконтинента и Хамардабанским террейном, ОА4/8 = 1.06–3.29) (рис. 5).

Слабое нарушение циклического равновесия изотопов урана подземных вод определено в тектонически-неактивных структурах раннего докембрия Шарыжалгайского блока (зоны Ангасольская, ОА4/8 = 1.35–1.51 и Листвянская, ОА4/8 = 1.06–1.98), в юрских отложениях Академической зоны (ОА4/8 = 1.38–1.73) и в метаморфических породах Хамардабанского аккретированного террейна (ОА4/8 = 1.23–1.45) (рис. 6). В Листвянской, Большекотовской, Шовной и Ангасольской зонах скважинами вскрыты застойные подземные воды участков окисления с равновесным ураном.

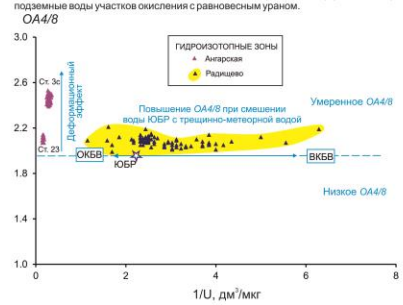

Рис. 4. Диаграмма ОА4/8 – 1/U родниковых вод в зонах Ангарская и Радищево. ЮБР, ОКББ, ВКБВ – обозначения на рис. 6.

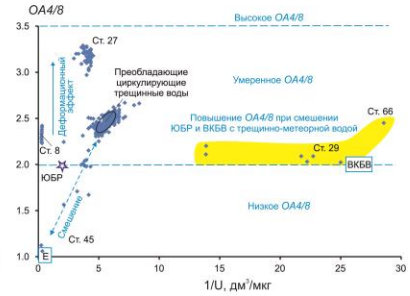

Рис. 5. Диаграмма ОА4/8 – 1/U подземных вод Шовной гидроизотопной зоны. Усл. обозначения см. рис. 4, ЮБР, ВКБВ – обозначения на рис. 6.

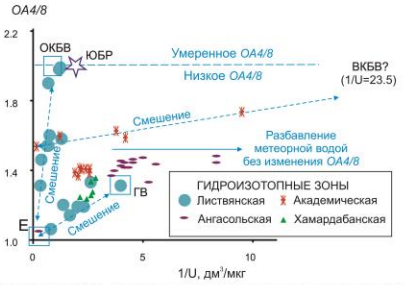

Рис. 6. Диаграмма ОА4/8 – 1/U подземных вод со слабым нарушением равновесия изотопов U. E – компонент застойных вод равновесного урана из зоны окисления (E – equilibrated, ОА4/8 = 1). ОКББ – окисленный компонент байкальской воды (с высоким [U]). ГВ – горная вода. ВКБВ – восстановленный компонент байкальской воды (с низким [U]), возможно, присутствующий в виде примеси в водах Академической зоны.

Данные мониторинга свидетельствуют о меняющихся во времени соотношениях компонентов подземных вод. В минеральной воде из скважины Олхинской зоны проявилось прогрессирующее химическое растворение эвапоритов, в результате которого за период наблюдений 2013–2018 гг. ОА4/8 возросло от 11.82 до 15.92, а в 2019 г. немного снизилось (до 15.71). Соответственно, содержание Ca сначала повысилось от 162 мг/дм^3 до 470 мг/дм^3, а затем понизилось до 320 мг/дм^3. В подземных водах Худяковской зоны в течение 2014 г. менялись пропорции компонентов неопротерозойско-нижнекембрийских эвапоритов, юрских песчаников и модифицированных компонентов ЮБР. В Шовной зоне значения ОА4/8 возрастали с усилением циркуляции подземных вод при открытии трещин и снижались при закрытии с выходом на сейсмоопасное состояние, продолжавшееся в течение нескольких месяцев. В воде ст. 27 концентрации изотопа ^{238}U снижались, при минимальных значениях которого случилось Голоустенское землетрясение с магнитудой 4.7.

В Прииркутской впадине Е.В. Пиннекером и др. [1968] была охарактеризована вертикальная гидрогеохимическая зональность. Подобная вертикальная зональность выражена в других частях осадочного чехла Сибирской платформы. Вертикальные гидрогеохимические зоны определены на газоконденсатном месторождении Дулисьма, в котором зона пресных вод с общей минерализацией 0.6 г/дм^3 прослеживается с поверхности (абсолютные отметки 500–600 м) на глубину 300–400 м и ниже сменяется зонами более минерализованных вод и рассолов (рис. 7).

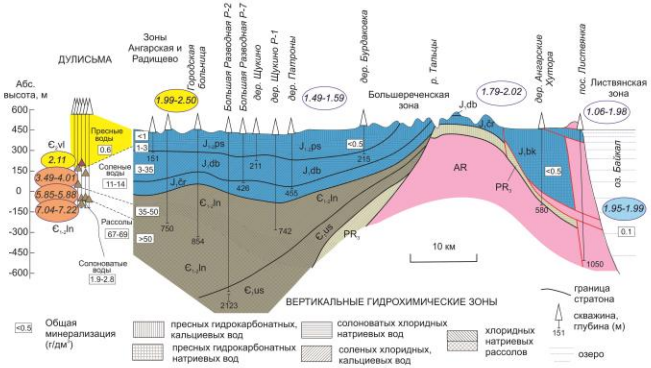

Рис. 7. Схема корреляции гидрохимических разрезов Иркутск–Листвянка Прииркутской впадины (южный край Сибирского кратона) и нефтегазоконденсатного месторождения Дулисьма (внутренняя часть кратона). Усл. обозначения см. рис. 1. Стратиграфические подразделения: PR_1 – неопротерозой, нерасчлененный; кембрийские свиты: $Є_1us$ – усольская, $Є_1ln$ – литвинцевская, $Є_1vl$ – верхоленская (Дулисьма, проба обозначена бордовым треугольником); юрские свиты: J_1bk – байкальская, $J_1čr$ – Черемховская (нижняя подсвита или запаринская базальная фация), J_1db – дабатская, J_1ps – присаянская. В разрезе Иркутск–Листвянка были выделены вертикальные гидрохимические зоны, в разрезе Дулисьма – дополнительно отданы определения ОА4/8. Профиль Иркутск–Листвянка из работы [Pinneker et al., 1968] с изменениями.

ОБСУЖДЕНИЕ

Компонентный состав вод обозначенных гидрогеизотопных зон идентифицирован с использованием диаграмм смешения ОА4/8 – 1/U. Существенная роль воды из резервуара Южного Байкала как основного компонента подземных вод определена в участках распространения пологих разрывов Ангарского надвига (особенно в северо-восточном крыле активного Ангарского разлома), а также в субвертикальных разрывах шовной зоны Главного Саянского разлома с современной сдвиговой компонентой (рис. 8). Для подземных вод из милонитов Главного Саянского разлома смешение компонентов южно-байкальских и подземных вод подтверждено построениями модели смешения на диаграмме ОА4/8 – $^{87}Sr/^{86}Sr$.

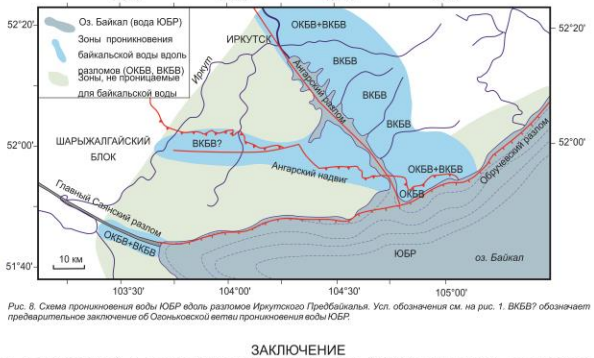

Рис. 8. Схема проникновения воды ЮБР вдоль разломов Иркутского Предбайкалья. Усл. обозначения см. на рис. 1. ВКБВ? обозначает предварительное заключение об Огоньковской ветви проникновения воды ЮБР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В вертикальной и горизонтальной зональности ОА4/8 подземных вод южного деформированного края Сибирского палеоконтинента проявилась связь вариаций этого параметра с минерализацией подземных вод. По трендам смешения на диаграммах ОА4/8 – 1/U обозначилась определяющая роль воды, распространяющейся от Южного Байкала под его побережье. Предполагается, что латеральному продвижению вод ЮБР способствует развитие пологих (ослабленных при рифтогенезе) разрывов Ангарского надвига и субвертикальных разрывов сдвиговой шовной зоны Главного Саянского разлома.

БЛАГОДАРНОСТИ

Прецизионные измерения ОА4/8 и [U] выполнялись методом ICP–MS на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500ce в центре коллективного пользования «Ультрамикроанализ» (ЛИН СО РАН).

Работа выполнена при финансировании грантом РНФ 18-77-10027.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пиннекер Е.В., Писарский Б.И., Ломоносов И.С., Колдышева Р.Я., Диденко А.А., Шерман С.И. Гидрогеология Прибайкалья. – Москва: изд-во Наука, 1968. – 170 с.
2. Рассказов С.В., Чувашова И.С., Яснытина Т.А., Фефелов Н.Н., Саранина Е.В. Калиевая и калинатровая вулканические серии в кайнозое Азии. – Новосибирск: Академическое изд-во «ГЕО». 2012. – 351 с.
3. Чебыкин Е.П., Рассказов С.В., Воднева Е.Н., Ильясова А.М., Чувашова И.С., Борняков С.А., Семинский А.К., Сюпося С.В. Первые результаты мониторинга 234U/238U в водах из активных разломов западного побережья Южного Байкала // Доклады академии наук. – 2015. – Т. 460, № 4. – С. 464–467.
4. Hanan B.B., Graham D.W. Lead and helium isotope evidence from oceanic basalts for a common deep source of mantle plumes // Science. – 1996. – V. 272. – P. 991–995.
5. Hauri E.H., Whitehead J.A., Hart S.R. Fluid dynamic and geochemical aspects of entrainment in mantle plumes // J. Geophys. Res. – 1994. – V. 99. – P. 24275–24300.