

ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

УДК 556.114+546.027(571.53/.55)

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ (H, O, Cl, Sr) ПОДЗЕМНЫХ РАССОЛОВ  
СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

С.В. Алексеев, Л.П. Алексеева, **В.Н. Борисов**,  
О. Шоуакар-Сташ\*, Ш. Фрейп\*, Ф. Шабо\*\*, А.М. Кононов

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

\* University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada

\*\* Centre de Geochimie de la Surface, Strasbourg, France

Представлены новые данные о геохимических особенностях и изотопном составе хлоридных рассолов Сибирской платформы. В связи с решением проблемы генезиса высокоминерализованных подземных вод исследовано распределение стабильных изотопов ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$  и  $^{37}\text{Cl}$ ) в рассолах Тунгусского, Ангара-Ленского, западного крыла Якутского и Оленекского артезианских бассейнов, а также изотопных отношений стронция ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) в рассолах западной части Оленекского артезианского бассейна. Результаты исследований и сравнительного анализа геохимических и изотопных особенностей рассолов Сибирской платформы более всего соответствуют теоретическим представлениям о формировании рассолов при взаимодействии древних седиментогенных вод с вмещающими породами.

*Гидрогеохимия, стабильные изотопы, рассолы, генезис подземных вод, Сибирская платформа.*

ISOTOPIC COMPOSITION (H, O, Cl, Sr) OF GROUND BRINES OF THE SIBERIAN PLATFORM

S.V. Alekseev, L.P. Alekseeva, **V.N. Borisov**, O. Shouakar-Stash,  
S.K. Frape, F. Chabaux, and A.M. Kononov

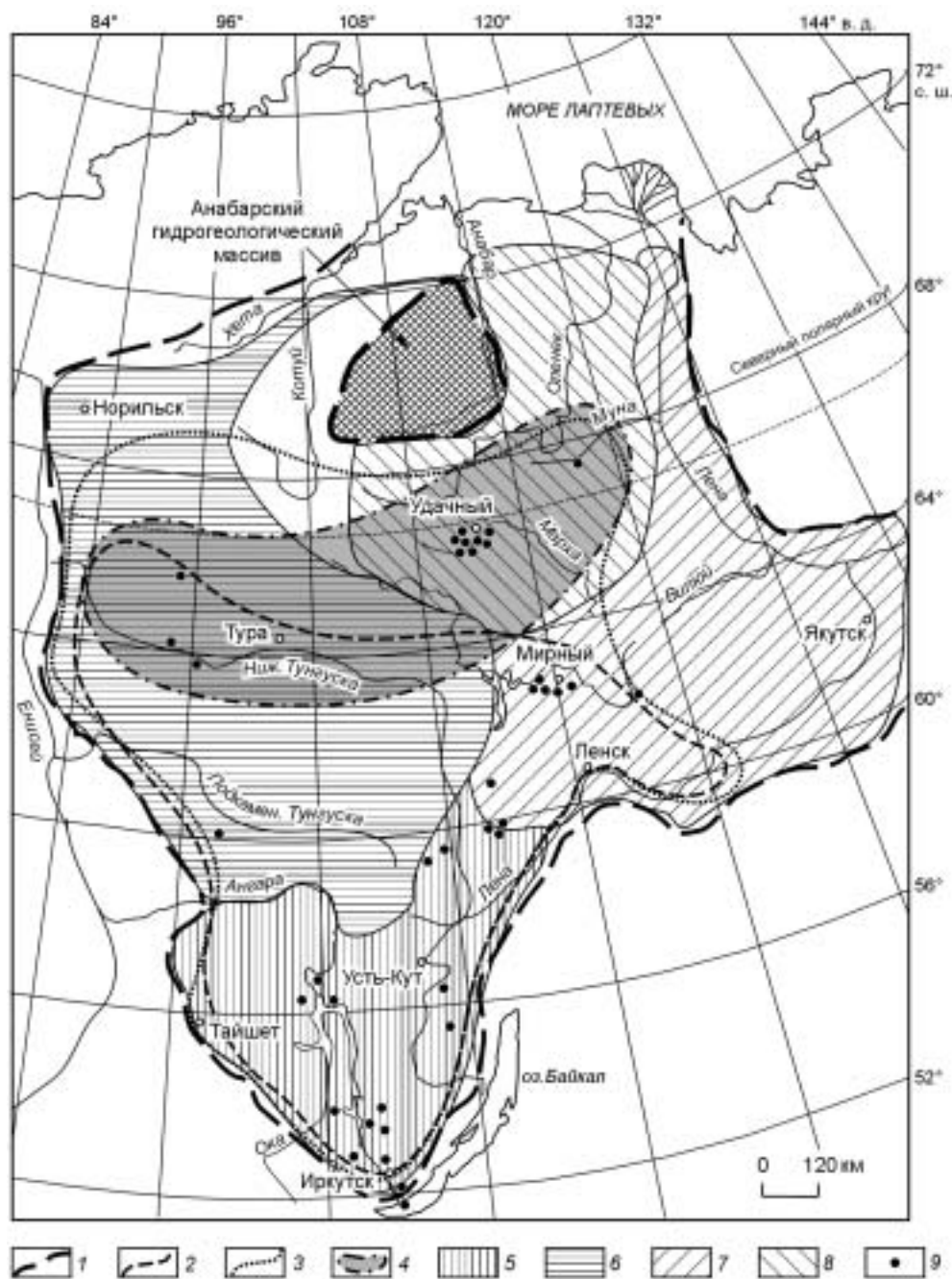
New data on the geochemistry and isotopic composition of chloride brines of the Siberian Platform are presented. The distribution of stable isotopes ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$ , and  $^{37}\text{Cl}$ ) in brines of the Tunguska, Angara-Lena, western part of the Yakutian and Olenek artesian basins and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  in brines of the western part of the Olenek artesian basin was studied in the context of the problem of genesis of highly mineralized groundwaters. Results of the study and comparative analysis of the geochemical and isotopic peculiarities of the Siberian Platform brines conform to the theory of brine formation through the interaction of ancient sedimentogene waters with enclosing rocks.

*Hydrogeochemistry, stable isotopes, brines, genesis of groundwaters, Siberian Platform*

ВВЕДЕНИЕ

Проблема генезиса и особенностей формирования крепких рассолов хлоридного состава Сибирской платформы привлекает пристальное внимание исследователей различного профиля и продолжает широко обсуждаться в научном мире [Lepin et al., 1975; Брандт и др., 1976; Борисов и др., 1976; Лепин, Борисов, 1979; Пиннекер и др., 1987; Гавшин и др., 1994; Пиннекер, Шварцев, 1996; Шварцев, 2000; Shouakar-Stash et al., 2002; Крайнов и др., 2004; Медведев, 2004]. Общеизвестно, что познанием процессов формирования химического состава соленых вод и рассолов занимались крупные ученые: М.Г. Валяшко, И.К. Зайцев, С.И. Смирнов, Е.В. Пиннекер и др. Однако полной ясности в вопросах генезиса рассолов нет. Особенно проблематичен генезис хлоридных минерализованных вод, насыщающих осадочные терригенно-карбонатные толщи без включений галогенных формаций. Для правильной интерпретации фактического материала и обоснования выводов о генезисе и процессах формирования высокоминерализованных подземных вод важно сочетание традиционных методов гидрогеологических исследований и методов изотопной гидрохимии, которые являются наиболее информативными среди прочих.

Рассолы Сибирской платформы имеют сложный генезис и геохимическую эволюцию. Формирование концентрированных рассолов хлоридного натриевого состава, приуроченных в основном к соленосным разрезам (западная и южная части платформы), связано с процессами выщелачивания солей из вмещающих галогенных пород. Концентрированные рассолы хлоридного кальциевого или магниево-кальциевого состава, распространенные преимущественно в восточной части платформы, — это смесь под-



**Рис. 1. Распространение соленосных отложений и рассолов на Сибирской платформе.**

1—3 — границы: 1 — Сибирской платформы, 2 — распространения нижнекембрийских соленосных отложений, 3 — сплошного распространения рассолов; 4 — зона полного насыщения осадочного чехла метаморфизованными рассолами; 5—8 — артезианские бассейны: 5 — Ангаро-Ленский, 6 — Тунгусский, 7 — Якутский, 8 — Оленекский; 9 — пункт гидрогеологического опробования.

земных вод различного генезиса, в которой седиментогенные воды замещены частично древними инфильтрационными водами. По современным воззрениям считается, что основу состава этих рассолов заложила захороненная маточная рапа солеродных бассейнов, которая впоследствии подвергалась различным процессам метаморфизации в системе вода—порода в ходе ее геохимической эволюции.

В настоящей статье предпринята попытка на основе анализа обширного фактического материала о региональных гидрогеологических и гидрогеохимических особенностях Сибирской платформы (рис.1), новых данных о химическом и изотопном составе рассолов определить степень участия вмещающих пород в формировании высокоминерализованных подземных вод и приблизиться к решению проблемы их происхождения.

Для выяснения генезиса рассолов представляется полезным сравнить особенности геологического строения, геокриологические и гидрогеологические условия Тунгусского и Ангаро-Ленского бассейнов, с одной стороны, и Якутского и Оленекского артезианских бассейнов — с другой. Это обусловлено тем, что все упомянутые регионы находятся в пределах Сибирской платформы, но названные особенности рассолов (в том числе и химический состав) существенно различаются.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Краткая геологическая и мерзлотно-гидрогеологическая характеристика объектов исследований.** В качестве объектов исследований выбраны Ангаро-Ленский и Тунгусский артезианские бассейны, а также западные крылья Якутского и Оленекского артезианских бассейнов.

Ангаро-Ленский бассейн занимает южную часть Сибирской платформы. В его пределах почти повсеместно распространены терригенно-карбонатные докембрийские отложения и галогенно-карбонатные толщи пород нижнего кембрия общей мощностью до 3000—4000 м. Они содержат преимущественно пластовые скопления рассольных хлоридных натриевых и кальциевых вод. В терригенных и карбонатных породах среднего, верхнего кембрия и ордовика общей мощностью до 1000—1500 м вскрываются также соленые и пресные подземные воды.

Для Ангаро-Ленского артезианского бассейна характерно островное распространение многолетнемерзлых пород. Их мощность не превышает первых десятков (15—50) метров. Среднегодовая температура пород изменяется от 0 до  $-3^{\circ}\text{C}$ , а глубина нулевых годовых амплитуд составляет 16—20 м.

В Тунгусском бассейне хлоридные натриевые и кальциевые рассолы распространены в нижних частях разреза в верхнепротерозойских и нижнепалеозойских галогенно- и терригенно-карбонатных толщах мощностью до 3000—5000 м. В вышележащих терригенных угленосных толщах карбона и перми мощностью до 700—1000 м обычно залегают (вне зон разломов) слабосоленые и пресные воды.

Распространение многолетнемерзлых пород в Тунгусском бассейне изменяется от сплошного на севере до островного на юге. Мощность мерзлых толщ уменьшается от 300—600 до 10—25 м в том же направлении, температура ниже слоя годовых теплооборотов составляет  $-0.1 \dots -3.0^{\circ}\text{C}$ .

Основными геологическими комплексами западного крыла Якутского артезианского бассейна являются терригенно-, галогенно-карбонатные породы кембрия, терригенно-карбонатные толщи ордовика и терригенные отложения юры общей мощностью более 2000 м. Они прорваны кимберлитовыми трубками среднепалеозойского возраста. В осадочных породах вскрываются подземные воды практически всех градаций — от ультрапресных до рассольных хлоридных натриевых и кальциевых. В пределах кимберлитовых трубок пресные и соленые подземные воды заморожены.

Западное крыло Якутского артезианского бассейна находится в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Мощность криолитозоны, включающей криопэги, составляет 550—800 м. Среднегодовая температура пород изменяется от  $-3.0$  до  $-4.7^{\circ}\text{C}$ .

Важной особенностью строения геологического разреза Ангаро-Ленского, Тунгусского бассейнов и западного крыла Якутского артезианского бассейна является широкое распространение мощных пластов ангидритовых и галитовых солей, а также многочисленных интрузий траппов.

Западное крыло Оленекского бассейна сложено преимущественно терригенно-карбонатными и карбонатными породами верхнего протерозоя, кембрия, ордовика и силура мощностью более 2000 м, прорываемые многочисленными кимберлитовыми и трапповыми телами. Здесь отсутствуют соленосные отложения и типичные для Сибирской платформы хлоридные натриевые рассолы. Подземные воды представлены исключительно солеными водами и рассолами хлоридного кальциевого или магниевого составов. Зона пресных подземных вод заморожена на всю мощность.

Геокриологические условия западного крыла Оленекского артезианского бассейна относятся к экстремальным. Эта часть бассейна находится в области сплошного распространения многолетнемерзлых пород, причем мощность зоны отрицательных температур достигает 1450 м. Температура горных пород на подошве слоя годовых теплооборотов достигает  $-8.8^{\circ}\text{C}$ .

**Методы исследований.** Для определения стабильных изотопов ( $^2\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}$  и  $^{37}\text{Cl}$ ) в подземных водах исследованы пробы соленых вод и рассолов, отобранных из скважин и родников в Ангаро-Ленском, Тунгусском, Якутском и Оленекском артезианских бассейнах. Химический и изотопный анализы проб воды выполнены в университете Ватерлоо (Онтарио, Канада) [Shouakar-Stash, 2002]. Изотопные  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  подземных рассолов изучены в пробах из скважин, пробуренных в западной части Оленекского артезианского бассейна. Здесь водоносные породы представлены кимберлитами позднего девона — раннего карбона и терригенно-карбонатными толщами кембрия. Химический анализ проб рассолов выполнен в Институте земной коры СО РАН (г. Иркутск), а определения изотопного состава стронция в Страсбургском университете (Франция).