

**И.С. Копылов**

Пермский государственный национальный  
исследовательский университет, г. Пермь

## ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗОНЫ ГИПЕРГЕНЕЗА ТУНГУССКОГО БАССЕЙНА И ИХ НЕФТЕГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Проведены геохимические и гидрогеологические нефтегазопроисследовательские исследования на западе Сибирской платформы в бассейне р. Подкаменной Тунгуски, где изучено 6 тыс. источников подземных вод и водотоков. Основными информативными гидрогеохимическими показателями в Тунгусском бассейне в верхней гидродинамической зоне являются: тип вод, характер минерализации, содержание хлоридов, сульфатов, брома, йода, некоторых органических веществ и микроэлементов, а также показатель метаморфизации воды. Установлено 150 гидрогеохимических аномалий, приуроченных в основном к геодинамическим активным зонам. В целом, все изученные гидрогеохимические показатели указывают на хорошую закрытость глубоких горизонтов и благоприятную обстановку для сохранности залежей в недрах локальных положительных структур.

*Ключевые слова:* нефтегазопроисследовательская геохимия и гидрогеология, гидрогеохимические показатели, аномалии, Байкитская антеклиза, Тунгусский бассейн.

**DOI: 10.17072/chirvinsky.2022.141**

**Введение.** Геохимические и гидрогеологические методы широко применяются при поисках и разведке нефтегазовых месторождений в России и за рубежом. Геохимические поиски нефти и газа (ГПНГ), вошедшие в геологическую литературу под названием «прямых геохимических поисков» - это часть комплекса геолого-разведочных работ, направленных на выявление и оценку перспектив нефтегазоносности; они основаны на изучении пространственных закономерностей полей концентраций химических элементов и соединений, главным образом УВГ, в верхних горизонтах осадочного чехла [7], имеют своей конечной целью оценку продуктивности конкретных структур или площадей.

Основными информативными гидрогеохимическими показателями перспектив нефтегазоносности и условий формирования нефти и газа на западе Сибирской платформы в Тунгусском бассейне в верхней гидродинамической зоне являются: тип вод, характер минерализации, содержание  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Br}^+$ ,  $\text{I}^-$ , показатели ОВ, геохимические коэффициенты [1].

**Методика, материал, изученность.** Геохимические и гидрогеологические нефтегазописковые исследования на Байкитской антеклизе (БА) проводятся с середины шестидесятых годов. Северной партией ГПП «Енисейнефтегазгеология» (где автор был ответственным исполнителем гидрогеологических и геохимических работ) и другими организациями на региональном и прогнозно-рекогносцировочном уровне (геохимические съемки, отвечающие масштабу 1:200 000-1:500 000) изучена площадь более 80 000 км<sup>2</sup> [3-5]. За период тридцатилетних гидрогеохимических исследований изучено более 3000 источников подземных вод и 3000 поверхностных водотоков (не считая режимных пунктов), при этом выполнено более 6000 общих (сокращенных) и 1000 полных химических анализов, около 1000 спектральных анализов. Из всего количества анализов для дальнейшей характеристики гидрогеохимических показателей отобрано 1149 родников и 2227 водотоков. Кроме того, использованы определения индикаторных компонентов непосредственно на водопунктах (более 15 000 точек). Объектами опробования являлись подземные - грунтовые и пластовые воды родников и редких скважин, а также поверхностные воды (ручьи, реки) в меженный период.

**Тип вод (солевой состав) и минерализация** являются наиболее общим гидрогеохимическим показателем условий водообмена. Для характеристики солевого состава применялась классификация В.А.Сулина (1948), в которой выделяются четыре генетических типа вод: сульфатно-натриевый, гидрокарбонатно-натриевый, хлор-магниевый и хлор-кальциевый. Как правило, нефтяные и газовые залежи ассоциируются с Cl-Ca и гидрокарбонатными, реже Cl-Mg водами, характеризующиеся самой различной минерализацией [1, 9]. Однако на территории БА этот вопрос изучен слабо.

По данным геохимических работ Северной ГПП [4] гидрохимический фон БА в целом составляют воды HCO<sub>3</sub>-Na (55,7%) и менее распространенные воды Cl-Mg типа (27,4%), но которые имеют преимущественное распространение в центральной части БА, где уже выявлены нефтегазовые залежи. Воды SO<sub>4</sub>-Na типа развиты в меньшей степени (14,1%) и имеют мозаичный характер, а воды Cl-Ca типа распространены локально (2,8%), имеют точечный характер. Если рассматривать подземные и поверхностные воды отдельно, то в первой группе незначительно увеличивается процент Cl-Mg и SO<sub>4</sub>-Na типов, а во второй группе - HCO<sub>3</sub>-Na и Cl-Ca типов.

Подземные и поверхностные воды БА в основном пресные, реже солоноватые с минерализацией 0,01-12,1 г/л. Очаги разгрузки

солончатых вод встречаются локально практически по всей территории БА, особенно часто в центральной и западной ее частях. Распределение минерализации в природных водах в основном согласуется с рельефом и зависит от стратиграфической принадлежности водовмещающих отложений. Наблюдается четкая дифференциация минерализации с увеличением ее в наиболее древних отложениях. Конфигурация изоминер в основном близка к конфигурации гидроизогипс. Участки с изоминерами 0,10 г/л можно условно считать областью питания, участки с изоминерами 0,20 г/л – областью транзита, участки с изоминерами 0,30 г/л и более – областью разгрузки подземных вод. Величина минерализации 0,30 г/л для БА является границей вод с преимущественно метеогенным и смешанным питанием (аналогично для вод четвертичных и коренных отложений по степени минерализации - 0,30 г/л и по содержанию хлоридов – 0,30 мг-экв/л). Эта граница подтверждена полевыми наблюдениями на водопунктах (литологией, гидрометрией, термометрией). Участки с изоминерами 0,40 - 0,50 г/л и более приурочены к наиболее ослабленным в тектоническом отношении участкам и ориентированы по долинам крупных рек.

Природные воды БА обладают низкой степенью метаморфизма. Коэффициент метаморфизации  $r \text{ Na/Cl}$  изменяется от 0,1 до 43,8. Среднее его значение 2,4 свидетельствует о преобладающем инфильтрационном питании. В наиболее древних нижнеэвенкийских отложениях, среднее его значение в водах снижается до 1,2.

**Гидрокарбонатность** ( $\text{HCO}_3^-$ ). Среди анионного состава преобладающим компонентом является гидрокарбонат-ион, определяющий химический состав воды. Содержание его в пределах БА 0,1-8,3, в среднем 3,4 мг-экв/л. Наблюдается прямая линейная зависимость гидрокарбонат-иона от минерализации, что характерно для природных вод покровных горизонтов запада Сибирской платформы.

**Сульфатность** ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Среди анионного состава сульфат-ион в целом занимает промежуточное положение между гидрокарбонатами и хлоридами; однако при этом, в низкоминерализованных водах в процентном отношении сульфатов содержится меньше, чем хлоридов, а в водах с повышенной минерализацией (особенно в нижне- и среднеэвенкийских отложениях), сульфаты нередко выходят на первое место. Содержание сульфат-иона в пределах БА 0,0-22,4, в среднем 0,6 мг-экв/л. Коэффициент сульфатности  $r \text{ SO}_4/\text{Cl}$  в целом по площади колеблется от 0,0 до 26,5, в среднем 3,7.

**Хлоридность** ( $\text{Cl}^-$ ). Содержание хлоридов в водах БА изменяется в широких пределах от 0,04 до 189,6, в среднем 0,24 мг-экв/л (при

исключении ураганных значений). Известны отдельные восходящие источники с минерализацией до 106 г/л и содержанием хлор-иона до 1645 мг-э/л (по данным ВСЕГЕИ, 1958ф и Туруханской ГП, 1974ф), однако более поздние исследования этих участков отмечают более низкие содержания компонентов. Повышенная хлоридность является показателем связи вод покровных горизонтов с водами глубоких горизонтов. Для БА по 7300 определениям хлор-иона статистической обработкой установлен региональный фон его распределения, равный 0,04-0,44 мг-э/л. По содержанию хлор-иона более 0,64 мг-э/л ( $>x+2s$ ), на гидрогеохимической карте БА [4] выделено более 150 аномалий, которые в основном располагаются в пределах участков с изоминерами 0,50 г/л и приурочены в основном к геодинамическим активным зонам обусловленными неотектоническими движениями, участкам повышенной тектонической трещиноватости пород локальных положительных структурам. Наиболее крупные аномалии расположены в центральной части БА – в долинах рек: Куюмбы, Верхней и Нижней Мадры, верховья Чавичины, низовья Камо и Тохомо, Талакан, Нирунгны, верховья Юрубчен; в восточной части БА – в среднем течении р.Тайги, в долине р.Подкам. Тунгуски (п.Сользавод); в западной части – в среднем течении р.Вельмо, в долинах рек: Оленчимо, Чапы, Вайвиды, в устье р.Тахрадэ и др. [2, 4].

**Показатели органического вещества (ОВ).** Содержание аммония ( $\text{NH}_4^+$ ) в природных водах территории изменяется от 0,0 до 4,0, в среднем невысокое - 0,2 мг/л. Содержание свободной углекислоты ( $\text{CO}_2^{\text{своб}}$ ) изменяется в больших пределах от 0,0 до 220,0, в среднем 10,5 мг/л. В центральной части БА средние значения этих показателей меньше: соответственно 0,13 и 7,8 мг/л. Общее содержание ОВ, определяемое по перманганатной окисляемости ( $\text{O}_2^{\text{перм}}$ ) находится в пределах 0,0-30,4, в среднем 7,1 мг/л. По сравнению со средними величинами для вод зоны гипергенеза области развития ММП [10] они несколько ниже. Увеличение содержаний  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{CO}_2^{\text{своб}}$  и  $\text{O}_2^{\text{перм}}$  в группах поверхностных вод и ПВ четвертичных отложений указывает на преимущественно гипергенный источник генерации ОВ.

Распределение растворенного органического вещества (РОВ) в подземных и поверхностных водах изучалось в центральной части БА, на эталонном участке Юрубченского месторождения [4] - в бассейнах рек Юрубчена, нижнего течения рек Камо и Тохомо. В 112 пробах выполнено определение РОВ весовым методом, определение ароматических углеводов (бензола и толуола) методом газожидкостной хроматографии, в отдельных пробах выполнена инфрокрасная спектроскопия для определения качественного состава ОВ. Содержание РОВ в

водах района изменяется от 0,0 до 0,57, в среднем 0,19 мг/л. РОВ представлено в основном маслами и незначительно парафинами и диагностировано, как органика поверхностного растительного происхождения. Содержание бензола и толуола очень низкие. Толуол не установлен, бензол зафиксирован лишь в двух пробах – 0,048 и 0,007 мг/л.

**Микрокомпоненты ( $\text{Br}^+$   $\text{I}^-$   $\text{B}^{***}$ )** имеют повышенные содержания в природных водах БА, как в подземных, так и в поверхностных. Средние их содержания значительно превышают кларковые по Сибирской платформе [10]. Это свидетельствует о наличии фильтрации в верхнюю гидросферу подземных вод из солевого водоносного этажа. Участки с повышенными содержаниями брома, бора и йода хорошо пространственно коррелируются с аномалиями по хлор-иону. По отношению к участкам известных залежей и прогнозируемым нефтегазовым участкам по распределению этих компонентов можно отметить значительное повышение их содержания и особенно брома в районе Юрубчено-Тохомского месторождения на участках с повышенной геодинамической активностью, обусловленной неотектонической деятельностью [6, 8]. Как считают Л.М.Зорькин, М.И.Суббота, Е.В.Стадник [1], повышенные содержания йода в подземных водах должны рассматриваться, как благоприятный признак нефтегазообразования, а высокие содержания брома и бора - как показатель наличия условий, благоприятных для сохранности залежей УВ.

**Редкие и рассеянные элементы.** В природных водах БА микроэлементы имеют концентрации, варьирующие в широких пределах. Средние содержания Li, Al, U ниже кларковых значений для области развития мерзлых пород. Средние содержания Cr, Cu, Ni, Rb превышают кларковые значения, но не достигают промышленных концентраций. Содержание Co в некоторых пробах имеет промышленные концентрации, превышающие ПДК в 2-9 раз. В долине р. Сыгаро установлена аномалия по трем источникам с содержанием кобальта 0,6-0,9 мг/л. Обращает внимание высокая концентрация в водах Ti, Ba, Sr в целом и других микроэлементов в отдельных точках. Распределение микроэлементов по площади сложное и не подчиняется строгой закономерности.

Анализируя изменение химического состава природных вод верхней гидросферы во времени, необходимо отметить, что в естественных природных условиях, в однотипных гидрогеологических и гидрологических режимах, солевой состав изменяется незначительно т.е. более-менее постоянен во времени, особенно в подземных водах. На участках подверженных техногенному изменению, особенно в районах действующих нефтегазоразведочных скважин, минерализация и состав

вод может значительно меняться по сравнению с прежним состоянием.

**Заключение.** Таким образом, по гидрогеохимическим показателям отмечается следующее:

1). По соотношению минерализации подземных и поверхностных вод, природные воды БА относятся к одному гидрогеохимическому району с близкой минерализацией и химическим составом, однако в центральной части БА отмечается в целом более высокая минерализация и большее распространение Cl-Mg типа вод.

2). На отдельных участках, которые характеризуются повышенной геодинамической активностью, обусловленной неотектонической деятельностью и трещиноватостью пород на локальных положительных структурах выявлена разгрузка подземных вод с повышенным содержанием хлор-иона и микрокомпонентов, показывающая на фильтрационную связь с глубокими горизонтами, но в целом, это носит узко локальный характер.

3). Гидрогеохимические показатели ОВ диагностируются, как связанные с гипергенным источником генерации ОВ в приповерхностных водах и невозможность применения их в качестве индикаторов нефтегазоносности в верхней гидросфере.

4). Солевой состав вод в естественных природных условиях устойчив в многолетнем временном диапазоне относительно однотипных циклов гидрологического режима и значительно меняется в годовом цикле времени, где наблюдается прямая зависимость состава воды и суммы солей от объема растворяющей воды.

5). На техногенных участках гидрогеохимические показатели сильно изменяются по сравнению с первоначальным состоянием, поэтому использовать гидрогеохимические данные на таких участках в нефтегазопромысловых целях не рекомендуется.

6). В целом, все изученные гидрогеохимические показатели указывают на хорошую закрытость глубоких горизонтов и благоприятную обстановку для сохранности залежей в недрах локальных положительных структур.

#### *Библиографический список*

1. Зорькин Л.М., Старобинец И.С., Стадник Е.В. Геохимия природных газов нефтегазоносных бассейнов. М.: Недра, 1984. 248 с.
2. Копылов И.С. Биогеохимические показатели, аномалии и их нефтегеологическое значение (Тунгусский бассейн) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2021. № 24. С. 106-112.
3. Копылов И.С. Геохимические критерии нефтегазоносности на западе Сибирской платформы // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2017. № 17. С. 91-96.

4. *Копылов И.С.* Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы. Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т. 2013. 166 с.
5. *Копылов И.С.* Структурно-гидрогеологический анализ Камовского свода Сибирской платформы // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2018. № 21. С. 395-401.
6. *Копылов И.С., Козлов С.В.* Неотектоническая модель нефтидогенеза и минерагеническая роль геодинамических активных зон // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. № 1 (22). С. 78-88.
7. Методические рекомендации по геохимическим методам поисков месторождений нефти и газа / Л.М.Зорькин, Н.В.Лопатин, О.В.Барташевич и др. М.: ОНТИ ВНИИЯГ., 1975. 285 с.
8. *Тихонов А.И., Копылов И.С.* Явление поступления глубинных вод из земных недр и их роль в развитии Земли. Вестник Пермского университета. Геология. 2014. № 4 (25). С. 43-55.
9. *Филатов К.В.* Основные закономерности формирования химического состава подземных вод и поисковые признаки нефтегазоносности. М.:Недра, 1976. 304с.
10. *Шварцев С.Л.* Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1978. 287 с.

## HYDROGEOCHEMICAL INDICATORS OF THE HYPERGENESIS ZONE OF THE TUNGUSKA BASIN AND THEIR OIL- GEOLOGICAL SIGNIFICANCE

**I.S. Kopylov**  
*georif@yandex.ru*

Geochemical and hydrogeological oil and gas exploration was carried out in the west of the Siberian platform in the basin of the river Podkamennaya Tunguska, where 6 thousand groundwater sources and streams have been studied. The main informative hydrogeochemical indicators in the Tunguska basin in the upper hydrodynamic zone are: the type of water, the nature of mineralization, the content of chlorides, sulfates, bromine, iodine, some organic substances and microelements, as well as an indicator of water metamorphization. 150 hydrogeochemical anomalies associated mainly with geodynamic active zones have been established. In general, all the studied hydrogeochemical indicators indicate a good closure of deep horizons and a favorable environment for the preservation of deposits in the depths of local positive structures.

*Keywords: oil and gas prospecting geochemistry and hydrogeology, hydrogeochemical indicators, anomalies, Baikit anteklise, Tunguska basin.*