

Д. А. Новиков^{1✉}, Н. А. Медешова²

Контрастность гидрогеохимических аномалий в пределах поисковых участков северо-западных районов Тургайского прогиба

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К. И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан
e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Рассмотрены гидрогеохимические особенности 10-и поисковых участков в северо-западных районах Тургайского прогиба (Республика Казахстан). Подземные воды изучаемого региона весьма разнообразны, как по величине общей минерализации, так и по их химическому составу. В первую очередь проявления соленых вод (более 10 г/дм³) обязаны своим происхождением процессам континентального засоления, учитывая нахождение исследуемого района в аридном климате. В целом, доминируют воды HCO₃-Cl Ca-Mg-Na, SO₄-HCO₃-Cl Na-Ca-Mg, SO₄-HCO₃-Cl Mg-Ca-Na и SO₄-Cl-HCO₃ Ca-Mg-Na состава. Наиболее часто встречаются в изученных водах Cu, Zn, Bi, Sn, Cr и Pb, установлены Be, As, V, Ag, Co и Mo. Выявлены характеристики зонального и локального гидрогеохимического фона. В наибольшей степени в водах установлено концентрирование Bi, As, Mo, Cu и Zn. Наиболее контрастные гидрогеохимические аномалии фиксируются по Cu, Zn, Sn и Bi.

Ключевые слова: гидрогеохимические поиски, фон, аномалия, стандартизированный коэффициент контрастности, Тургайский прогиб, Республика Казахстан

D. A. Novikov^{1✉}, N. A. Medeshova²

Contrast of hydrogeochemical anomalies within the exploration sites of the northwestern regions of the Turgay depression

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation

²Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Abstract. The hydrogeochemical features of ten exploration areas in the northwestern part of the Turgay depression (Republic of Kazakhstan) have been studied. The groundwater of the region under investigation is highly diverse, both in terms of total mineralization and chemical composition. The occurrence of saline waters (over 10 g/dm³) is primarily attributed to continental salinization processes, considering the arid climate of the study area. Overall, the dominant water types are HCO₃-Cl Ca-Mg-Na, SO₄-HCO₃-Cl Na-Ca-Mg, SO₄-HCO₃-Cl Mg-Ca-Na, and SO₄-Cl-HCO₃ Ca-Mg-Na. The most frequently detected elements in the studied waters are Cu, Zn, Bi, Sn, Cr, and Pb, with Be, As, V, Ag, Co, and Mo also identified. The characteristics of both regional and local hydrogeochemical backgrounds have been determined. The highest concentrations in the waters were found for Bi, As, Mo, Cu, and Zn. The most pronounced hydrogeochemical anomalies are associated with Cu, Zn, Sn, and Bi.

Keywords: hydrogeochemical exploration technique, background, anomaly, standardized coefficient rate, Turgay depression, Republic of Kazakhstan

Введение

Поисковые работы – это одна из важнейших стадий геологоразведочных работ, на которой получение максимально достоверной информации может определить успех и эффективность всех последующих работ. Активно и достаточно длительное время для поисковых целей применяются геохимические методы, которые подтвердили свою эффективность в различных ландшафтно-климатических условиях. Научной основой геохимических поисков месторождений полезных ископаемых является учение о миграции, рассеянии и концентрации химических элементов в земной коре, заложенное трудами В.И. Вернадского, В.Г. Гольдшмидта и А.Е. Ферсмана, а также учение о рудных месторождениях, определяющее геологические условия формирования месторождений различных генетических типов и учение о геохимии ландшафтов Б.Б. Полынова и А.И. Перельмана. Понятие об ореолах рассеяния элементов-индикаторов месторождений полезных ископаемых впервые было сформулировано Н.И. Сафроновым [7].

Рассматривая процесс рудообразования в единстве трех его частей (гидротермальное изменение вмещающих пород, рудоотложение и ореолообразование), следует иметь в виду, что основные рудные компоненты в рудных телах и ореолах по количеству вполне сопоставимы, а рудных элементов-примесей в ореолах значительно больше, чем в рудных телах. Большое значение имеет и то обстоятельство, что объем ореольного пространства и синрудного гидротермального изменения пород во много раз превышает объем рудной залежи. Поэтому фиксация ореола возможна не только классическими литохимическими методами, но и гидро- и биогеохимическими.

В настоящей статье сделана первая попытка обобщения всех гидрогеохимических данных по северо-западным районам Торгайского прогиба (рис. 1), где к настоящему времени открыто более 20 месторождений железа, бокситов, золота и полиметаллов, что несомненно внесет значимый вклад в развитие фундаментального направления гидрогеохимических методов поисков стратегических металлов в Казахстане.

Методы и материалы

Проведено первое обобщение фондовых данных по подземным водам северо-западных районов Торгайского прогиба (электронная база данных с результатами гидрогеохимического опробования составляет 368 записей). Название химического типа воды дано в соответствии с формулой М.Г. Курлова (более 10 %-экв.) по оттеночному принципу от меньшего к большему. Для графической визуализации химического состава подземных вод использована диаграмма Пайпера. Статистическая обработка гидрогеохимических данных производилась на основе требований инструкции по геохимическим методам поисков [6], а также других методических рекомендаций [2-4].



Рис. 1. Местоположение района исследований (а) и поисковых участков (б) в пределах северо-западных районов Торгайского прогиба. Границы: 1 – государственные, 2 – гидрогеологических регионов; 3 – района исследований; 4 – поисковых участков: 1 – Милютинский, 2 – Шевченковский, 3 – Камышинский, 4 – Краснооктябрьский, 5 – Аккаргинский, 6 – Жетигаринский, 7 – Денисовский, 8 – Шекубаевский, 9 – Смирновский, 10 – Варваринский; 5 – гидрогеологический разрез по линии I – I.

Под гидрогеохимическим полем мы понимаем такую разновидность геологических полей, где в качестве признаков рассматриваются показатели ионно-солевого, микрокомпонентного, газового и органического состава подземных вод исследуемого объекта. Под гидрогеохимическим фоном понимается средняя из наиболее часто встречающихся концентраций того или иного параметра подземных вод, а в качестве гидрогеохимической аномалии выступает концентрация, значительно превышающая фоновую и имеющая ореольный характер. Гидрогеохимический фон и аномалии также зависят от масштабов исследований и делятся на региональные, зональные и локальные.

Способность конкретных элементов к накоплению в подземных водах можно оценить с помощью коэффициента концентрирования (КК), который в соответствии с положениями В.И. Вернадского и А.И. Ферсмана представляет отношение концентрации элемента в воде к его средней концентрации в земной

коре [13]: чем больше превышение концентрации элемента в подземной воде над его средней концентрацией в земной коре, тем больше гидрофильность элемента. Степень контрастности содержаний химических элементов определялась на основе стандартизированного коэффициента контрастности (СКК), представляющего собой вышефоновое значение, нормированное на среднеквадратичное отклонение (для нормального закона распределения) или стандартный множитель (для логнормального закона распределения). СКК является аналогом показателя контрастности, используемого для характеристики слабых аномалий [9].

$$\text{СКК} = (C_i - C_f)/\sigma,$$

где C_i – содержание элемента в пробе; C_f – фоновое значение; σ (ε) – среднеквадратичное отклонение (стандартный множитель). СКК может принимать значения меньше нуля, что свидетельствует о содержаниях меньше среднего. Значения СКК равное 1 принимается за верхнюю границу фона. Степень контрастности проводится по следующим значениям СКК: менее 1 – ниже фоновые и фоновые содержания, от 1 до 2 – минимальное аномальное значение, от 2 до 3 – умеренно аномальное значение, более 3 – резкоаномальное значение. Использование СКК позволяет строить аддитивные и мультипликативные комплексные аномалии.

Результаты и обсуждение

Регион исследований (см. рис. 1б) расположен в пределах двух гидрогеологических регионов Казахстана, охватывая северные районы Таймыро-Уральского и западные районы Западно-Сибирского [1]. Первый приурочен к областям герцинской складчатости, подверженным сравнительно слабым поднятиям в новейшее время и сложен в основном палеозойскими породами, в значительной степени метаморфизованными, среди которых значительную роль играют интрузии. Подземный и поверхностный стоки региона направлены в смежные бассейны пластовых вод. На территории Казахстана регион представлен Большеуральским бассейном безнапорных и напорных подземных вод, который приурочен к Уральскому поднятию [8]. Состав подземных вод формируется при широком развитии процессов испарительного концентрирования. Пресные воды, состав которых формируется за счет процессов выветривания горных пород, находятся преимущественно в западной части Западно-Сибирского региона [5].

Подземные воды изучаемого региона весьма разнообразны, как по величине общей минерализации, так и по их химическому составу. В первую очередь проявления соленых вод (более 10 г/дм³) обязаны своим происхождением процессам континентального засоления, учитывая нахождение исследуемого района в аридном климате. В целом, доминируют воды HCO₃-Cl Ca-Mg-Na, SO₄-HCO₃-Cl Na-Ca-Mg, SO₄-HCO₃-Cl Mg-Ca-Na и SO₄-Cl-HCO₃ Ca-Mg-Na состава. Они характеризуются pH от слабокислых (5,2) до слабощелочных (8,2). В рассмотренной геохимической совокупности присутствуют воды от ультрапресных (84 мг/дм³) до соленых (28,4 г/дм³). В этом же направлении происходит закономерная смена химического состава вод с гидрокарбонатных кальциевых на хлоридные натрие-

вые, зачастую с повышенной долей сульфат-иона, что говорит о протекании процессов континентального засоления.

Отмечается положительная корреляция между отношениями Mg/Na к Ca/Na , что может свидетельствовать о поступлении основных катионов в раствор при выветривании силикатных пород [10, 12]. Диаграммы Гиббса [11] позволили выявить вклад в химический состав подземных вод атмосферных осадков, переход элементов из водовмещающих пород при их выветривании и влияние процессов испарительного концентрирования на состав вод. Фигуративные точки поровну ложатся в поля выветривания горных пород и испарительного концентрирования, что говорит, о большом вкладе в химический состав пресных HCO_3 Ca вод как вмещающих пород, так и процессов испарительного концентрирования при формировании состава соленых подземных вод Cl Na и $Cl-SO_4$ Na состава.

Наиболее часто в изученных водах встречаются Cu , Zn , Bi , Sn , Cr и Pb . Помимо них установлены Be , As , V , Ag , Co и Mo . Фоновый (зональный) микрокомпонентный состав подземных вод изучаемого региона можно представить в виде следующего ряда от большего к меньшему (mg/dm^3): $Zn_{3,65} > Cu_{1,43} > V_{1,15} > Cr_{0,99} > Co_{0,39} > Pb_{0,20} > Bi_{0,18} > Mo_{0,17} > Sn_{0,14} > As_{0,12} > Be_{0,09} > Ag_{0,05}$. Обобщение имеющегося фактического материала по всем поисковым участкам позволило выполнить расчет коэффициента концентраций (КК) и стандартизированного коэффициента контрастности (СКК) (рис. 2). Установлено, что в подземных водах исследуемого региона в большей степени концентрируются висмут, серебро, молибден, медь и цинк (рис. 2а). При этом наибольшей контрастностью аномалий обладают медь, цинк, хром, молибден, олово и висмут (рис. 2б).

В гидрохимическом отношении *Денисовский участок* является наиболее интересным и характеризуется распространением смешанных HCO_3-Cl $Na-Mg$ и $Cl-HCO_3$ $Na-Mg$ вод. Общая минерализация изменяется от 0,3 до 1,3 $г/дм^3$ составляя в среднем 0,7-0,8 $г/дм^3$. Воды имеют нейтральную или щелочную реакцию. Кроме широко распространенных смешанных вод выявлены SO_4-Cl Na и $Cl-SO_4$ Na воды, связанные с диабазами и туфами. Повышенная сульфатность вод связана с сульфидной минерализацией, отмеченной в керне скважин (123,126), пройденных в диабазах.

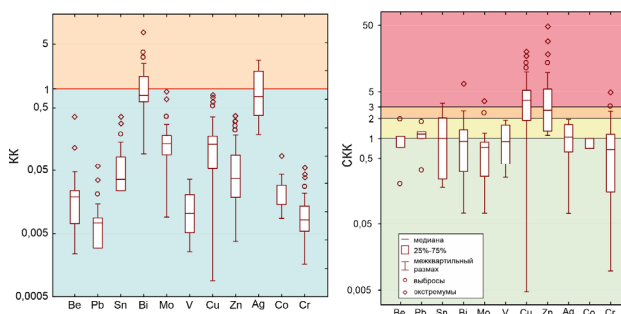


Рис. 2. Диаграмма размаха значений коэффициента концентрирования (КК) Be , Pb , Sn , Bi , Mo , V , Cu , Zn , Ag , Co , Cr (а) и диаграмма размаха значений стандартизированного коэффициента контрастности (СКК) Be , Pb , Sn , Bi , Mo , V , Cu , Zn , Ag , Co , Cr (б) в подземных водах поисковых участков северо-западных районов Тургайского прогиба.

Анализ распределения меди в подземных водах позволил закартировать пять аномальных зон. Первый тип аномалий характеризуется медно-колчеданной ассоциацией поисковых гидрохимических элементов: повышенными содержаниями Cu, Zn, Co, наличием As и Sn. В геологическом отношении аномалия первого типа приурочена к диабазам и туфам зеленокаменной толщи силурийского возраста. Силурийские образования вмещают в себя небольшие массивы габбро и диоритов. В скважинах 123 и 126 расположенных в зоне аномалии, обнаружена густая вкрапленность пирита в ассоциации с халькопиритом. Содержание меди в отдельных интервалах достигает 1 %. Второй тип аномалий характеризуется полиметаллической группой гидрохимических поисковых признаков: наряду с повышенными содержаниями Cu, Zn, фиксируются Bi, Pb, Ga, As, Ag, Cr и V. Аномалия третьего типа проявляется повышенными содержаниями Cu, наличием Mo, Be и Bi элементами характерными для редкометального оруденения. В Центральной части аномальной зоны залегает небольшой массив габбро, приуроченный к зоне контакта вулканогенных пород с серпентинитами. Учитывая благоприятное геологическое строение и положительные данные гидрохимических исследований, свидетельствующих о возможности обнаружении промышленной минерализации, рекомендуется на выделенных аномальных зонах постановку геолого-поисковых работ.

Заключение

Резюмируя вышесказанное можно сделать следующие выводы: 1) Подземные воды изучаемого региона весьма разнообразны, как по величине общей минерализации, так и по их химическому составу. В целом, доминируют воды $\text{HCO}_3\text{-Cl Ca-Mg-Na}$, $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Cl Na-Ca-Mg}$, $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Cl Mg-Ca-Na}$ и $\text{SO}_4\text{-Cl-HCO}_3\text{ Ca-Mg-Na}$ состава. Они характеризуются pH от слабокислых (5,2) до слабощелочных (8,2). В рассмотренной геохимической совокупности присутствуют воды от ультрапресных (84 мг/дм^3) до соленых ($28,4 \text{ г/дм}^3$). В этом же направлении происходит закономерная смена химического состава вод с $\text{HCO}_3\text{ Ca}$ на Cl Na , зачастую с повышенной долей SO_4 , что говорит о протекании процессов континентального засоления. 2) Наиболее часто в изученных водах встречаются Cu, Zn, Bi, Sn, Cr и Pb. Помимо них установлены Be, As, V, Ag, Co и Mo. Фоновый (зональный) микрокомпонентный состав подземных вод изучаемого региона можно представить в виде следующего ряда от большего к меньшему (мг/дм^3): $\text{Zn}_{3,65} > \text{Cu}_{1,43} > \text{V}_{1,15} > \text{Cr}_{0,99} > \text{Co}_{0,39} > \text{Pb}_{0,20} > \text{Bi}_{0,18} > \text{Mo}_{0,17} > \text{Sn}_{0,14} > \text{As}_{0,12} > \text{Be}_{0,09} > \text{Ag}_{0,05}$. Установлено, что в подземных водах исследуемого региона в большей степени концентрируются висмут, серебро, молибден, медь и цинк. При этом наибольшей контрастностью аномалий обладают медь, цинк, хром, молибден, олово и висмут. 3) Первый тип аномалий характеризуется медно-колчеданной ассоциацией поисковых гидрохимических элементов: повышенными содержаниями Cu, Zn, Co, наличием As и Sn. Второй тип аномалий характеризуется полиметаллической группой гидрохимических поисковых признаков: наряду с повышенными содержаниями Cu, Zn, фиксируются Bi, Pb, Ga, As, Ag, Cr и V. Ано-

малия третьего типа проявляется повышенными содержаниями Cu, наличием Mo, Be и Bi, элементами характерными для редкометального оруденения.

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования РФ № FWZZ-2022-0014.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Атлас гидрогеологических карт Республики Казахстан. – Алматы: ТОО «А-Три-Принт», 2022. – 85 с.
2. Беус А. А., Грабовская Л. И., Тихонова Н. В. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1976. – 248 с.
3. Беус А. А., Григорян С. В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. – М.: Недра, 1975. – 280 с.
4. Копылова Ю. Г., Гусева Н. В. Гидрогеохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых // Учебное пособие: Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 179 с.
5. Медешова Н. А., Новиков Д. А., Ауелхан Е. С., Антоненко А. А., Максимова А. А., Деркачев А. С., Дульцев Ф. Ф., Орынбек А. М., Минискул Ш. Д., Черных А. В., Хващевская А. А. Уран в подземных водах Северного Казахстана // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 10. – С. 203–215.
6. Овчинников Л. Н. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1983. – 191 с.
7. Сафронов Н. И. К вопросу об ореолах рассеяния месторождений полезных ископаемых и их использовании при поисках и разведке // Проблемы советской геологии. – 1936. – № 4.
8. Смоляр В. А., Буров Б. В., Веселов В. В., Махмутов Т. Т., Касымбетов Д. Водные ресурсы Казахстана (поверхностные и подземные воды, современное состояние). – Алматы: Гылым, 2002. – 596 с.
9. Шварцев С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
10. Gaillardet J., Dupre B., Louvat P., Allegre C. J. Global silicate weathering and CO₂ consumption rates deduced from the chemistry of large rivers // Chem. Geol. – 1999. – V. 159. – P. 3–30. DOI: 10.1016/S0009-2541(99)00031-5
11. Gibbs R. J. Mechanisms controlling World's water chemistry // Science. – 1970. – V. 170 (3962). – P. 1088–1090.
12. Mukherjee A., Scanlon B., Fryar A., Saha D., Ghoshe A., Chowdhuri S., Mishra R. Solute chemistry and arsenic fate in aquifers between the Himalayan foothills and Indian craton (including central Gangetic plain): influence of geology and geomorphology // Geochim. Cosmochim. Acta. – 2012. – V. 90. – P. 283–302. DOI: 10.1016/j.gca.2012.05.015
13. Rudnick R. L., Gao S. The Composition of the Continental Crust / In: Holland H. D. and Turekian K. K. // Eds. Treatise on Geochemistry. – 2003. – V. 3. – The Crust. Elsevier-Pergamon. Oxford. 1–64. <http://dx.doi.org/10.1016/b0-08-043751-6/03016-4>

© Д. А. Новиков, Н. А. Медешова, 2025