

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ АКТИВНЫХ ЗОН

Копылов И.С.

Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь, e-mail: georif@yandex.ru

В результате проведения структурно-гидрогеологического и линеаментно-геодинамического анализа установлено, что в формировании гидрогеологической обстановки в западной части Сибирской платформы в зоне активного водообмена ведущую роль играют структурно-геологические условия и геодинамическая (неотектоническая) активность. Установлена геопространственная связь зон повышенной геодинамической активности с участками повышенной концентрации подземного стока и подземного химического стока. Большинство локальных положительных структур в геодинамических активных зонах характеризуются повышенными гидрогеологическими показателями. Основная гидрогеологическая роль геодинамических активных зон заключается в распределении подземного стока, формировании гидрогеологических и гидрогеохимических аномалий, специфических гидрогеологических, геоэкологических и инженерно-геологических условий и месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: гидрогеологическая роль, геодинамические активные зоны, родники, подземный сток, гидрогеохимические аномалии, структурно-гидрогеологический анализ

HYDROGEOLOGICAL ROLE OF GEODYNAMIC ACTIVE ZONES

Kopylov I.S.

*Natural Science Institute of the Perm State National Research University,
Perm, e-mail: georif@yandex.ru*

Structural-geological conditions and geodynamic (neotectonic) activity play a key role in the formation of the hydrogeological conditions in the western part of the Siberian platform in the zone of active water exchange – it is established as a result of structural and hydrogeological and lineament-geodynamic analysis. Geospatial relationship of areas of high geodynamic activity with areas of high concentration of groundwater flow and groundwater chemical drain are installed. Most local tectonic uplifts in geodynamic active zones are characterized by elevated hydrogeological parameters. The main hydrogeological role geodynamic active zones are in the distribution of groundwater flow; the formation of the hydrogeological and hydrogeochemical anomalies, as well as in the formation of specific hydro-geological, geo-environmental and geotechnical conditions and the formation of mineral deposits.

Keywords: hydrogeological role, geodynamic active zones, springs, groundwater flow, hydro-geochemical anomalies, structural and hydrogeological analysis

В формировании гидрогеологической обстановки в зоне активного водообмена (движение подземных вод, миграция в них химических элементов, распределение подземного стока, формирование гидрогеологических и гидрогеохимических аномалий) участвуют многочисленные процессы; ведущую роль при этом играют состояние структурно-геологических условий и неотектонические движения. Действия этой закономерности установлено для многих регионов мира [1–5, 24, 26, 27, 29, 32, 33] и подтверждено нами во многих районах Сибири, Урала, Приуралья [6, 7, 14–18, 23, 25]. Известное положение, выдвинутое академиком Н.М. Страховым [30] о повышенной тектонической трещиноватости активно поднимающихся положительных структур, способствующей интенсивному водообмену и миграции химических элементов подземных вод, является теоретической предпосылкой структурно-гидрогеологического метода. Повышенная геодинамическая ак-

тивность является необходимым условием данного положения.

Материалы и методы исследований

Основными методами изучения системы «подземные воды – растворенное вещество – геологические структуры – геодинамическая активность» являются линеаментно-геодинамический и структурно-гидрогеологический анализы. Методология и методика оценки геодинамической активности территорий рассмотрена в наших работах [9, 11–13, 19, 22, 28], основным расчетным показателем выявления геодинамических активных зон является плотность тектонических линеаментов (установленных по дешифрированию космических снимков и другим геолого-геофизическим методам) на единицу площади. Важнейшей задачей структурно-гидрогеологического анализа является количественная оценка и картирование подземного химического стока, который представляет собой процесс совместной миграции растворенных веществ с подземными водами в верхних частях земной коры [5] и измеряется массой растворенного вещества, выносимого ими из толщи земной коры в единицу времени. Практически, метод осуществляется путем полевых измерений расходов

водотоков и их солевого состава в межень, когда он соответствует в среднем составу подземного стока речных бассейнов. В качестве основных расчетных показателей для проведения структурно-гидрогеологического анализа использовались модуль подземного стока, модуль подземного химического стока, модуль подземного углеводородного стока по формулам:

$$M_{\text{пс}} = \frac{g_{\text{пс}}}{F}; \quad M_{\text{пкс}} = \frac{g_{\text{пс}} \cdot C_{\text{п}}}{F} = M_{\text{пс}} \cdot C_{\text{п}};$$

$$M_{\text{увс}} = \frac{g_{\text{пс}} \cdot C_{\text{увг}}}{F} = M_{\text{пс}} \cdot C_{\text{увг}},$$

где $g_{\text{пс}}$ – подземный сток, л/с; F – площадь гидрогеологического района (водосбора), км²; $C_{\text{п}}$ – средняя сумма растворенных солей, г/л; $C_{\text{увг}}$ – средняя сумма водорастворенных углеводородных газов; $M_{\text{пс}}$ – модуль подземного стока, л/с·км²; $M_{\text{пкс}}$ – модуль подземного химического стока, г/с·км²; $M_{\text{увс}}$ – модуль углеводородного стока, см³/с·км².

Результаты исследований и их обсуждение

На западе Сибирской платформы – территории Байкитской антеклизы и ее обрамлений проведен линеаментно-геодинамический анализ, целью которого являлось геодинамическое районирование и выделение геодинамических активных зон. По результатам аэрокосмогеологических исследований регионально-зонального уровня выделены десятки тысяч линеаментов различных таксономических рангов, закартированы геодинамические активные зоны зонального и локального уровней: 81 – с высокой плотностью линеаментов и 44 – с очень высокой и чрезвычайно высокой плотностью линеаментов [14].

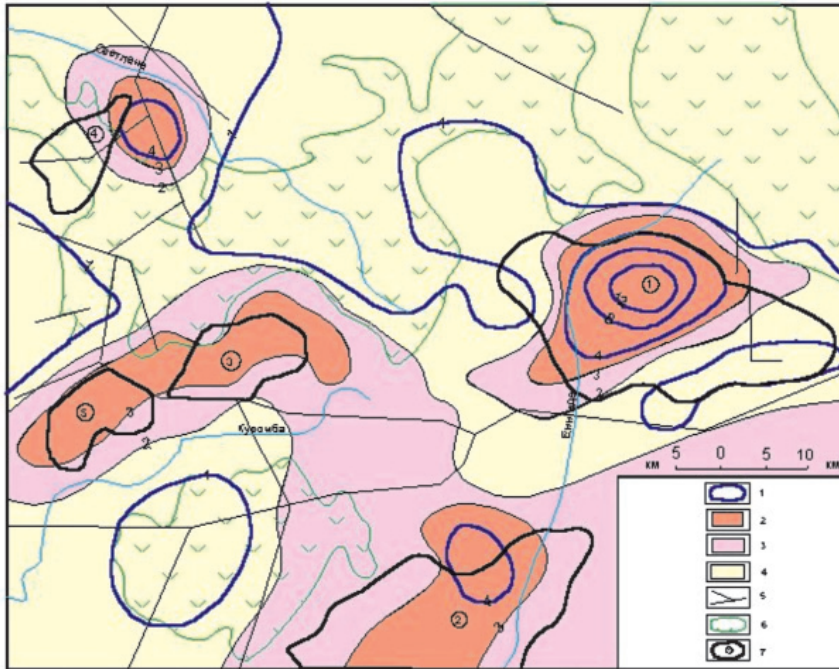
Структурно-гидрогеологические исследования с целью изучения подземного химического стока и оценки неотектонической активности локальных положительных структур гидрогеологическим методом проведены на Байкитской антеклизе на общей площади 40 тыс. км². Было выполнено 1300 гидростворов и измерений расходов водотоков с одновременным гидрохимическим опробованием [7]. Основной объем работ сосредотачивался в районах выделенных структур и перспективных объектов. Частота гидрометрических замеров на этих участках составляла 0,5–3 км, на других участках 5–10 км. Гидрометрические замеры осуществлялись в полную летнюю межень. Измерение расхода воды проводилось гидрометрическими вертушками основным способом, принятым на большинстве постов гидрометеослужбы РФ. Подземный сток был измерен на 637 участках в 510 бассейнах малых рек. Была разработана специальная методика построения и анализа структурно-гидрогеологической схемы. Установлено более 4000 источни-

ков подземных вод различного типа. Водообильность водоносных комплексов (в основном из средне-верхнекембрийских и ордовикских отложений) крайне неравномерна по площади. Наряду с обширными необводненными или спорадически обводненными участками наблюдаются водообильные зоны в бассейнах рек: Енгида Вельминская, Туколангна, Комнэ, Светлана, Куромба, Юдоломо, Тукалонна, Эгстакан, Майгунгна, Бурная, Тайга, Чандымба, Анчалго, Чэлэпчэн, Немба, Юрубчен, Сумума, Петэмок, Ягнянда, Нирунгна. В целом, дебиты родников колеблются в больших пределах от 0,01 до 511 л/с. Крупнейшие 15 источников имеют дебиты: 511, 376, 302, 286, 235, 205, 200, 197, 187, 185, 150, 122, 110, 108, 105 л/с. Поэтому, объем распределения родникового стока крайне неравномерен. На 43% родников с дебитом 0,1–1 л/с приходится лишь 2% общего стока, на 40% родников с дебитом 1–10 л/с приходится 22% стока, на 17% родников с дебитом 10–100 л/с приходится 42% общего стока, а на 0,01% родников с дебитом более 100 л/с приходится 34% общего родникового стока. Такое распределение обусловлено неравномерной тектонической трещиноватостью пород, связанной с геодинамической активностью территории.

Установлена общая региональная закономерность увеличения концентрации подземного и подземного химического стока с юго-востока на северо-запад (в соответствии с распределением среднегодовых осадков от 400 до 700 и более мм/год). На карте минимального 30-дневного летне-осеннего стока рек СССР, обеспеченностью $P = 80\%$, масштаба 1:10 000 000 [31], рассматриваемая территория имеет значение модуля стока от 1,5 до 4 л/с·км² и более, с увеличением в северо-западном направлении. По нашим данным средний $M_{\text{пс}}$ для площадей региона также имеет тенденцию увеличения на северо-запад. Так, на Иркинеевской площади, расположенной в юго-восточной части региона, он равен 1,24 л/с·км²; в центральной части – на Камовской площади – 1,97; на Юрубченской – 2,34; далее на северо-запад, на Светланинской площади – 6,35 и на Кузьмовской площади, расположенной на северо-западном склоне Байкитской антеклизы и частично уже в Тунгусском мегапрогибе – 6,49 л/с·км². По карте подземного химического стока СССР масштаба 1:10 000 000 [5] территория имеет значение $M_{\text{пкс}}$ от 0,25 до 1 г/с·км² с увеличением в северо-западном направлении. По нашим данным средний $M_{\text{пкс}}$ имеет такую же тенденцию, но имеет большие значения и составляет: на

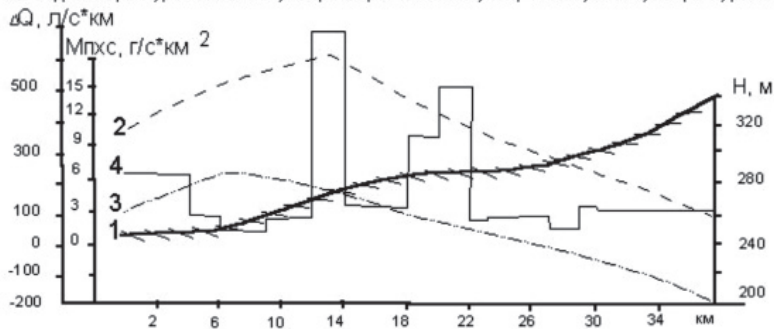
Иркинеевской площади – 0,41; на Камовской – 0,72; на Юрубченской – 1,11; на Светланнинской – 1,63 и на Кузьмовской площади –

1,24 г/с·км². Построена структурно-гидрогеологическая схема Байkitского региона. Фрагмент ее приведен на рисунке.



Структурно-гидрогеологическая схема северо-западной части Байkitской антеклизы (на участке Сосновского поднятия)

1 - изолинии модуля подземного химического стока (Мпхс, г/с·км кв.). Участки Мпхс: 2 - аномальные (>3), 3 - выше среднего (2-3), 4 - ниже среднего (<2), 5 - Разрывные нарушения, 6 - секущие и пластовые интрузии долеритов, 7 - контуры локальных положительных структур (по подошве пролетарской свиты ордовика: 1-Сосновское поднятие, 2-Куромбинский купол, 3-Бирокчанский купол, 4-Токсуский купол, 5-Куромбинский купол)



Изменение удельных водопритоков и модуля подземного химического стока по реке Еннгиде на участке Сосновского поднятия

1 - уклон, 2 - модуль подземного химического стока (Мпхс), 3 - условная линия подошвы пролетарской свиты нижнего ордовика, 4 - кривая изменения удельных притоков

Структурно-гидрогеологическая схема северо-западной части Байkitской антеклизы [17]

Анализ структурно-тектонических и геодинамических условий естественных выходов подземных вод на поверхность показал, что зоны концентрации подземного стока имеют отчетливую связь с гидрогеологически активными разломами и с тектонической трещиноватостью локальных

положительных структур, расположенных в геодинамических активных зонах (с высокой и очень высокой плотностью линейментов). Отмечается прямая связь между увеличением количества родников и их дебитом на участках геодинамически активных структур антиклинального типа. На

многих тектонических поднятиях установленных структурно-геологической съемкой (Сосновское, Комнинский купол, Туколанский купол, Эгстаканский купол, Лыжненская брахиантиклиналь, Манкурский купол и др.) суммарные и концентрированные расходы родников достигают 50–300 л/с. Именно эти родники определяют формирование гидрогеологических аномалий на участках положительных структур. На участках локальных положительных структур, расположенных в пределах стабильных геодинамических зон с фоновыми характеристиками неотектонических показателей дебит родников обычно не превышает 1 л/с, составляет преимущественно 0,1–0,5 л/с.

При анализе распределения родников по площади рассматривались другие основные факторы, возможно влияющие на формирование гидрогеологических аномалий. *Геоморфологический фактор (высота рельефа)* контролирует распределение родников только по высоте и в зависимости от возраста. При размахе абсолютных отметок, на которых установлена разгрузка подземных вод от 210 до 450 м, 90% всех родников приурочена к высотам 220–350 м. Закономерна обратная связь высоты рельефа с минерализацией подземных вод. На площадное распределение родников и существенное влияние на их дебиты геоморфологический фактор не оказывает. *Неотектонический фактор (расчлененность рельефа, уклоны продольных профилей рек)* также не оказывают существенного воздействия на увеличение концентрации подземного стока, хотя отдельные гидрогеологические аномалии характеризуются повышенными значениями неотектонических показателей. *Литоологический фактор (состав пород)* не играет большой роли в площадном распространении родников т.к. они представлены в основном однотипными вмещающими карбонатно-терригенными породами. *Трапповый магматизм (интрузии долеритов)* несомненно, оказывает влияние на формирование подземных вод. Однако воздействие его находится в прямой зависимости от структурно-тектонических и геодинамических условий. Поэтому, долериты могут обладать, как экранирующими свойствами в спокойной тектонической обстановке, так и проводящими свойствами в геодинамических активных зонах. На большей части территории, трапповый магматизм в формировании гидрогеологических аномалий практически не участвует. *Геокриологический фактор (распределение многолетнемерзлых пород островного характера)* создает специфику гидрогеологических условий. Однако установлена прямая за-

висимость влияния мерзлоты на условия залегания и сток подземных вод от характера тектонического строения и геодинамической активности территории. В пределах положительных структур, геодинамических активных зон мерзлота практически не оказывает влияния на гидрогеологические условия. Таким образом, не отрицая влияния перечисленных факторов на формирование подземных вод (особенно неотектонического, роль которого заметно выше в центральной части Байкитской антеклизы по сравнению другими площадями), ведущая роль отводится структурно-тектоническому и геодинамическому факторам.

По структурно-гидрогеологическим особенностям на рассматриваемой территории выделяется два гидрогеологических района: Тунгусско-Вельминский (западная и северо-западная часть) и Тунгусско-Камовский (центральная, южная и восточная части). В первом районе выделены 13 гидрогеологических аномалий, во втором районе выделены 15 гидрогеологических аномалий. Площади их составляют десятки – первые сотни квадратных километров. Все гидрогеологические аномалии пространственно совпадают с геодинамическими активными зонами. Отмечается пространственная приуроченность 26 из 28 гидрогеологических аномалий к локальным положительным структурам с небольшим смещением в плане. В целом, в пределах изученных площадей большинство локальных структур нашли свое отражение по гидрогеологическим показателям. Из 38 локальных положительных структур установленных геолого-структурными методами подтверждены 32 объекта, что составляет 84% от всех установленных структур. Наиболее отчетливо проявляются по гидрогеологическим данным локальные положительные структуры с большими амплитудами и крутыми углами наклона крыльев. На северо-западе Байкитской антеклизы лучшие характеристики по всем гидрогеологическим параметрам имеют: Сосновское поднятие, Комнинский, Биракчанский, Токсусский купола, Лыжнинская брахиантиклиналь; на Камовском своде – Нижнеюрбченский, Манкурский купола и Нирунгинская брахиантиклиналь. При этом необходимо подчеркнуть еще раз, что все структуры, характеризующиеся повышенными гидрогеологическими показателями, расположены в пределах геодинамических активных зон.

Заключение

В результате проведения структурно-гидрогеологического и линеаментно-геодинамического анализа было установлено, что в формировании гидрогеологической

обстановки Байкитской антеклизы в зоне активного водообмена ведущую роль играют структурно-геологические условия и геодинамическая (неотектоническая) активность. Установлена геопространственная связь зон повышенной геодинамической активности с участками повышенной концентрации подземного и подземного химического стока. На основании приведенных примеров и многочисленных других аналогичных фактов, можно определить основную гидрогеологическую роль геодинамических активных зон в следующем: распределение подземного стока; миграция химических элементов в подземных водах; формирование гидрогеологических и гидрогеохимических аномалий, водообильных зон и как следствие из этого – формирование специфических гидрогеологических, геоэкологических и инженерно-геологических условий [8, 10, 20, 21] природных и урбанизированных территорий в зонах повышенной геодинамической активности, формирование месторождений полезных ископаемых.

Список литературы

1. Абдрахманов Р.Ф., Чалов Ю.Н., Абдрахманова Е.Р. Пресные подземные воды Башкортостана. – Уфа: Информреклама, 2007. – 184 с.
2. Буданов Н.Д. Роль новейшей тектоники и связанных с ней нарушений в гидрогеологии Урала // Советская геология. – 1957. – № 58. – С. 25–39.
3. Вожов В.И. Подземные воды Тунгусского бассейна. – М.: Недра, 1977. – 80 с.
4. Грязнов О.Н., Новиков В.П., Фельдман А.Л. Гидрогеологические и геоэкологические аспекты разработки рудных месторождений горно-складчатого Урала // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 1995. – № 5. – С. 95.
5. Зверев В.П. Роль подземных вод в миграции химических элементов. – М.: Недра, 1982. – 186 с.
6. Копылов И.С. Структурно-гидрогеологический анализ при поисках локальных объектов в юго-западной части Сибирской платформы // Геология и нефтегазоносность перспективных земель Красноярского края: сб. науч. трудов. – Тюмень: ЗапсибНИГНИ, 1987. – С. 58–65.
7. Копылов И.С. Геоэкологические исследования нефтегазоносных регионов: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Пермь, 2002. – С. 307.
8. Копылов И.С. Концепция и методология геоэкологических исследований и картографирования платформенных регионов // Перспективы науки. – 2011. – № 23. – С. 126–129.
9. Копылов И.С. Теоретические и прикладные аспекты учения о геодинамических активных зонах // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 4; URL: www.science-education.ru/98-4745.
10. Копылов И.С. Принципы и критерии интегральной оценки геоэкологического состояния природных и урбанизированных территорий // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6; URL: www.science-education.ru/100-5214.
11. Копылов И.С. Неотектонические и геодинамические особенности строения Тимано-Печорской плиты по данным аэрокосмогеологических исследований // Нефтегазовое дело. – 2012. – № 6. – С. 341–351.
12. Копылов И.С. Линеаментно-геодинамический анализ Пермского Урала и Приуралья // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/106-7570>.
13. Копылов И.С. Аномалии тяжелых металлов в почвах и снежном покрове города Перми как проявления факторов геодинамики и техногенеза // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1–2. – С. 335–339.
14. Копылов И.С. Влияние геодинамики и техногенеза на геоэкологические и инженерно-геологические процессы в районах нефтегазовых месторождений Восточной Сибири // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3; URL: www.science-education.ru/103-6522.
15. Копылов И.С. Закономерности формирования почвенных ландшафтов Приуралья, их геохимические особенности и аномалии // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4. URL: www.science-education.ru/110-9777.
16. Копылов И.С. Поиски и картирование водообильных зон при проведении гидрогеологических работ с применением линеаментно-геодинамического анализа // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 93. – С. 468–484.
17. Копылов И.С. Геоэкология нефтегазоносных районов юго-запада Сибирской платформы: монография. – Пермь, – 2013. – 166 с.
18. Копылов И.С. Геодинамические активные зоны Приуралья, их проявление в геофизических, геохимических, гидрогеологических полях // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 4. – С. 69–74.
19. Копылов И.С., Карасева Т.В., Гершанок В.А. Комплексная геоэкологическая оценка горно-промышленных районов Северного Урала // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 84. – С. 113–122.
20. Копылов И.С. Инженерно-геологическая роль геодинамических активных зон // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 5–2. – С. 110–114.
21. Копылов И.С. Геоэкологическая роль геодинамических активных зон // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 7. – С. 67–71.
22. Копылов И.С. Методы и технологии выявления геодинамических активных зон при разработке калийных месторождений для обоснования безопасного ведения горных работ // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 4. – С. 38–43.
23. Копылов И.С., Ликуты Е.Ю. Структурно-геоморфологический, гидрогеологический и геохимический анализ для изучения и оценки геодинамической активности // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9–3. – С. 602–606.
24. Кудряшов А.И. Флюидогеодинамика. – Свердловск. УрО АН СССР, 1991. – 228 с.
25. Ликуты Е.Ю., Копылов И.С. Комплексирование методов изучения и оценки геодинамической активности // Вестник Тюменского государственного университета. – 2013. – № 4. – С. 125–133.
26. Маков К.И. О методе структурно-гидрогеологического анализа // Докл. АН УССР. – № 5. – 1947.
27. Максимович Г.А., Михайлов Г.К. Опыт структурно-гидрогеологических исследований в Среднем Прикамье // Гидрогеология и карстоведение. – Вып. 3. – Пермь, 1966.
28. Осовецкий Б.М., Копылов И.С. О влиянии структуры аллювиальных крупнообломочных грунтов на их инженерно-геологические свойства // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.
29. Степанов В.М. Введение в структурную гидрогеологию. – М.: Недра, 1989. – 229 с.
30. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. – Т.2. – М.: Изд-во АН СССР, 1962.
31. Указания по определению расчетных гидрогеологических характеристик. СН 435-72. – Л.: Гидрометеоздат, 1972. – 39 с.
32. Шварцев С.Л., Пиннекер Е.В., Перельман А.И. и др. Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия. – Новосибирск: Наука, 1982. – 287 с.
33. Шерстнев В.А. Водообильные зоны. – Пермь: ПГУ, 2002. – 132 с.