

Г. А. Максимович, Г. К. Михайлов
ОПЫТ СТРУКТУРНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ В СРЕДНЕМ ПРИКАМЬЕ*

Геологические структуры, наряду с климатическими и литолого-петрографическими условиями, относятся к главным факторам, определяющим гидрогеологическую обстановку. Структуры положены в основу районирования подземных вод территории СССР [6, 10, 11]. Гидрогеологические особенности крупных тектонических структур охарактеризованы также в работах Н. К. Игнатовича [10], О. К. Ланге [14], Н. И. Толстихина, И. К. Зайцева [9] и др. Значение подземных вод в решении тектонических вопросов показано А. М. Овчинниковым [28], Н. Д. Будановым [4], Н. И. Буяловым [5] и др.

Локальные тектонические структуры площадью до 200 кв. км (в том числе и нефтеносные) в гидрогеологическом отношении изучены недостаточно, хотя их роль в формировании подземного стока, особенно в зоне активной циркуляции, значительна [21–26].

Кафедра динамической геологии и гидрогеологии и Лаборатория геологии Пермского университета в течение ряда лет изучают влияние локальных платформенных структур на гидрогеологические условия верхнепермских отложений восточной окраины Русской платформы. Отсутствие надежных маркирующих горизонтов в мощной толще верхнепермских красноцветов затрудняет ведение структурно-поисковых работ в нефтеносных районах Пермского Прикамья [30] и в других местах. Поэтому разработка гидрогеологических методов по-

* П р и м е ч а н и е . Публикуемая работа – доклад, сделанный авторами в мае 1963 г. на Всесоюзном научно-техническом совещании по гидрогеологии и инженерной геологии в г. Ереване.

Т а б л и ц а
Подземный сток и химическая денудация в различных структурно-тектонических условиях (бассейн Воткинского водохранилища)

| №. № на карте (рис. 2) | Названия бассейнов рек | Структурно-тектонические условия | Модуль подземного стока, $\frac{\text{л}}{\text{сек}} \cdot \text{км}^2$ | Минерализация воды, $\frac{\text{г}}{\text{л}}$ | Показатель подземного химического стока, $\frac{\text{г}}{\text{сек}} \cdot \text{км}^2$ | Подземная химическая денудация (условно), | |
|------------------------|---|----------------------------------|--|---|--|---|----|
| | | | | | | т/км | мк |
| 1 | Правые притоки р. Тулвы у дд. Тюмис и Гремяча | крутое крыло поднятия | 6,5 | 0,42 | 2,7 | 85 | 32 |
| 2 | Речка Искирь | прогиб | 1,7 | 0,47 | 0,8 | 25 | 9 |
| 3 | Речки Усакла, Игатка | поднятие | 6,1 | 0,50 | 3,0 | 95 | 35 |
| 4 | Речка М. Нюня | моноклираль | 1,7 | 0,50 | 0,8 | 25 | 9 |
| 5 | Речка Константиновка | моноклираль | 1,7 | 0,57 | 1,0 | 32 | 11 |
| 6 | Речки Печменка, Асюлка, Атняшка и др. | поднятие | 3,5 | 0,45 | 1,6 | 50 | 18 |
| 7 | Речки Аклуша, Тюндюк | моноклираль | 1,0 | 0,43 | 0,4 | 16 | 6 |
| 8 | Речка Бардабашка | поднятие | 5,7 | 0,44 | 2,5 | 79 | 29 |
| 9 | Речка Ермия | намечающиеся поднятия | 7,2 | 0,50 | 3,6 | 113 | 42 |
| 10 | Речка Лариха | поднятие | 6,3 | 0,45 | 2,8 | 90 | 33 |
| 11 | Речки Гуменка и Коршуниха | моноклираль | 1,4 | 0,55 | 0,8 | 25 | 9 |
| 12 | Речка Тиха | поднятие | 6,0 | 0,49 | 2,9 | 93 | 34 |
| 13 | Речка Лужкова | поднятие | 5,5 | 0,35 | 1,9 | 61 | 23 |
| 14 | Речка Травинская | моноклираль | 1,7 | 0,40 | 0,7 | 22 | 7 |

исков небольших структурных поднятий имеет научное и практическое значение.

В основу этих методов положены следующие теоретические соображения: а) формирование локальных поднятий сопровождается развитием интенсивной трещиноватости, которая возрастает по направлению к их центральной части [3, 12]; б) вода – одно из наиболее подвижных природных веществ, использует трещины как пути перемещения. Она движется при очень малых наклонах поверхности, характерных для платформенных структур. Условия выхода подземных вод трещинного типа являются важным показателем структурно-тектонической обстановки [28]; в) химический состав подземных вод в зоне активной циркуляции, сложенной слаборастворимыми породами, зависит в основном от скорости их движения и длины пути [18].

Авторы предлагают несколько гидрогеологических методов структурно-поисковых исследований. Помимо теоретических предпосылок они базируются на изучении гидрогеологических особенностей локальных структур Среднего Прикамья, установленных бурением [21, 24, 26].

Метод анализа особенностей подземного стока

Локальные структурные поднятия, в особенности тектонически активные в настоящее время, характеризуются повышенной трещиноватостью пород по сравнению с прилегающими к ним участками. Интенсивная инфильтрация атмосферных осадков на их площади обусловила значительную водообильность пород. В примерно равных климатических и литолого-петрографических условиях модуль подземного стока на поднятиях в 2–3 раза выше, чем на соседних моноклиальных участках (рис. 1, табл.).

Все обследованные поднятия в бассейне р. Тулвы, которые установлены бурением, отличались повышенными модулями подземного стока при фоновом – $1,4 \text{ л/сек/км}^2$ (табл.). Значительная густота речной и овражной сети, а также большие уклоны земной поверхности иногда вызывают снижение модуля подземного стока. Так, на Асюльском поднятии, где рельеф сильно всхолмлен и расчленен эрозионными формами, наблюдалось снижение его до $3,6 \text{ л/сек/км}^2$. Но и эта величина в два раза больше, чем на соседнем участке моноклиального залегания пород (бассейн рч. Константиновки). Широкое развитие глинистых пород на поверхности и вблизи нее, вызывающее кольтатацию трещин, несколько снижает модуль подземного стока на поднятиях. Это характерно для юго-запад-

ной части Лобановского вала и для других структур, расположенных на площади развития нижнебелебеевских [24] и верхнешешминских отложений. Однако и в этих условиях изучение подземного стока в бассейне Воткинского водохранилища (ниже г. Перми) позволило установить ряд зон повышенной тектонической трещиноватости, связанных с локальными поднятиями (рис. 2).

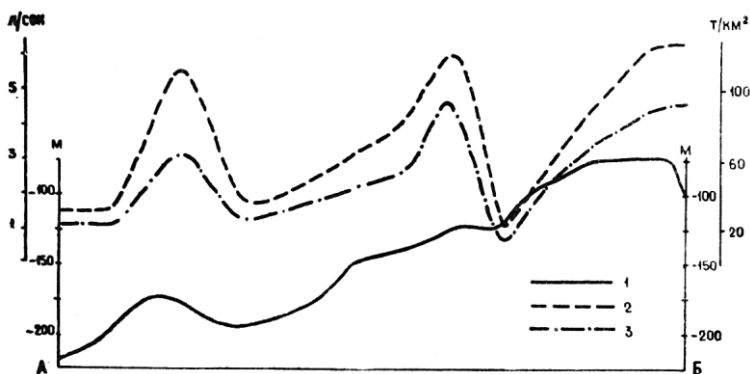


Рис. 1. Изменение модуля подземного стока и подземной химической денудации в зависимости от структурно-тектонических условий: 1 – Кровля маркирующего горизонта, 2 – модуль подземного стока, л/сек./км², 3 – подземная химическая денудация (в год), т/км².

Характер распределения зон повышенной тектонической трещиноватости определяется формой структуры в плане [3, 32]. Например, у брахиантеклинальных складок наиболее развиты и обводнены поперечные и продольные трещинные зоны, а удельная трещиноватость пород увеличивается от крыльев к замку. Это является причиной разнообразия дебита выходов трещинных вод. В Среднем Прикамье дебит родников верхнепермских отложений в зависимости от структурных условий изменяется от менее 0,1 до нескольких десятков л/сек [21, 24, 25]. Наиболее крупные источники, относящиеся к 4 и 5 классам [20], приурочены по большей части к поднятиям. При удалении от них дебит родников уменьшается. С увеличением высоты поднятия и активности современных положительных тектонических движений возрастает степень концентрации динамических ресурсов подземных вод в наиболее нарушенных трещинных зонах. Для характеристики относительных параметров структуры следует определять коэффициент концентрации подземного стока

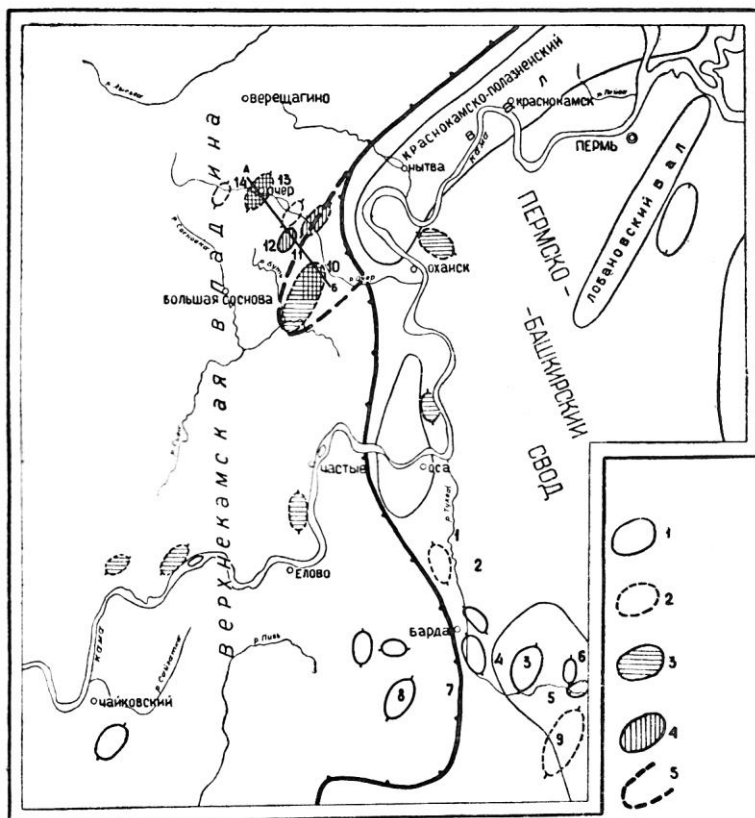


Рис. 2. Схематическая тектоническая карта юго-западной части Пермской области с локальными структурами, изученными гидрогеологическими методами: 1 – структуры, установленные бурением и выделяющиеся по гидрогеологическим данным, 2 – структуры, намечающиеся по гидрогеологическим данным, 3 – структуры, активные в настоящее время, 4 – структуры, намеченные по гидрогеологическим данным, подтвержденные электроразведкой, 5 – намечающееся продолжение Краснокамско-Полазненского вала. АБ – линия профиля, показанного на рис. 1. Участки, охарактеризованные в табл., занумерованы (1–14).

Средний коэффициент концентрации подземного стока представляет отношение среднего дебита родников на площади поднятия к модальному (наиболее распространенному) значению дебита. Максимальный коэффициент – это отношение наибольшего дебита родника к модальному значению. Так, в бассейне р. Очеры средний коэффициент концентрации подземного стока при модальном значении $0,33 \text{ л/сек}$ равен $8,9$, а максимальный – 258 .

На участках моноклиналильного залегания пород средний коэффициент концентрации подземного стока близок к единице, а максимальный обычно не превышает $3-5$.

Скважины, вскрывающие водоносные горизонты на положительных структурах, имеют обычно больший удельный дебит, чем на прилегающих моноклиналильных участках.

Следует отметить, что в некоторых локальных прогибах и на структурных террасах наблюдается значительная концентрация подземных вод и высокие модули стока. Это объясняется или разгрузкой напорных вод в зону свободного стока, или взаимодействием встречных потоков трещинных (грунтовых и слабо напорных) вод, идущих от близлежащих структурных поднятий – областей интенсивного питания водоносных горизонтов. Крупные родники локальных прогибов, площадью до нескольких сотен *кв. км*, в отличие от поднятий, относятся к восходящему типу [25]. В северной части Кольцовской депрессии, где на отдельных участках дебит восходящих родников достигает $10-35 \text{ л/сек}$, а модуль подземного стока в зимнюю межень превышает $8-10 \text{ л/сек/км}^2$, происходит разгрузка водоносных горизонтов, питающихся на восточном крыле Лобановского вала и на восточном борту Кольцовской депрессии. Повышенная водоносность горизонтов, разгружающихся в верховьях р. Тулвы, обусловлена их питанием на близлежащих Асюльском, Красногорском, Северо-Таныпском и др. поднятиях. В районах активного проявления и значительной дифференциации неотектонических движений небольшие прогибы обладают значительными естественными запасами доброкачественных пресных вод.

Водоносность пород уменьшается в широких прогибах. Вода фонтанирующих скважин здесь отличается повышенной минерализацией. Это связано с уменьшением гидравлического уклона.

Изучение зависимости гидрогеологических условий Среднего Прикамья от структурной обстановки показало, что обобщенная схема гидродинамической зональности карстовых вод (Г. А. Максимович, 1957) может применяться и для пластово-трещинных вод [25]. Она имеет следующий вид: 1 – зона сво-

бодной нисходящей вертикальной циркуляции подземных вод. На слабо водопроницаемых пластах местами происходит горизонтальное движение. II – зона сезонных колебаний уровня вод. III – зона горизонтальной циркуляции подземных вод со свободной поверхностью. IV – зона нисходящей циркуляции напорных трещинных вод. V – зона слабонаклонных и горизонтальных токов напорных подземных вод. VI – зона преобладания восходящей циркуляции.

Мощность зон контролируется в основном структурами. Например, I и IV зоны на поднятиях имеют большую мощность. В прогибах, совпадающих с понижением высоты рельефа, она уменьшается и т. д. Нисходящие фильтрационные токи наблюдаются и в глинистых породах, слагающих зону активной циркуляции поднятий. На это указывали ранее А. Н. Мятнев и др.

Пользуясь гидрогеологической классификацией структур И. К. Зайцева [9], небольшие прогибы можно рассматривать как локальные артезианские бассейны.

Подземный сток на поднятиях может быть центробежным и центростремительным. Это зависит от взаимоотношения поднятий с близлежащими структурами, расположения и глубины эрозионных форм рельефа, а также от геологической истории района.

Метод показателя подземного химического стока (денудации)

Благодаря повышенной трещиноватости пород и значительным уклонам поверхности подземных вод, на структурных поднятиях возникает усиленный водообмен. Скорости движения подземных вод здесь возрастают, а время их взаимодействия с вмещающими породами сокращается. Это приводит к некоторому уменьшению минерализации воды [24]. Значительные объемы инфильтрующихся атмосферных осадков, а также промываемых пород, обладающих большой удельной поверхностью, обуславливают высокие темпы выноса растворимых веществ со структурных поднятий. Показатель подземного химического стока, т. е. количество растворимых веществ, вынесенных подземными водами с каждого кв. км площади бассейна [1], возрастает на локальных положительных структурах (табл.). Несмотря на отмытость пород от легко мигрирующих компонентов, подземная химическая денудация на поднятиях происходит в 1,5–2 и более раз ак-

тивнее, чем на участках моноклинального погружения пород [26]. Она выражается годовым объемом или весом растворимых веществ, вынесенных подземными водами с единицы площади исследуемой территории, – микронами или $т/км^2$ (табл.).

Обследованные нами в бассейне р. Очер положительные структуры четвертичного тектогенеза отличаются от прилегающих к ним участков активным выносом кремнезема, содержание которого в пресных подземных водах достигает 52 мг/л . Миграция подвижных (по Б. Б. Полюнову) компонентов обусловлена здесь значительной концентрацией подземного стока и хорошей проницаемостью верхнепермских пород в зонах повышенной тектонической трещиноватости.

Для характеристики относительной продолжительности пребывания структур одного гидрохимического района в условиях активного водообмена можно пользоваться коэффициентом подземной химической денудации. Он представляет отношение средней минерализации подземных вод к модулю стока. На более древних и хорошо промытых структурах этот коэффициент бывает меньше, чем на сравнительно молодых промыывающихся и непромытых поднятиях.

Показатели подземного химического стока, приведенные в табл., относятся, в основном, к периоду летней межени. В зимнюю межень они уменьшаются примерно на 25 %. Если данные табл. рассматривать как среднегодовые показатели, то химическая денудация на структурных поднятиях Среднего Прикамья в 2–3 раза превышает химическую денудацию Земли [17, 18] и бассейна р. Волги [31]. Она значительно выше химической денудации бассейна р. Камы [15] и восточного крыла Уфимского вала, сложенного карстующимися карбонатными породами [7].

Изучение зависимости гидрогеологических условий и особенностей химической денудации от структурной обстановки позволило наметить юго-западное продолжение Краснокамско-Полазненского вала, а также выделить ряд локальных структурных поднятий в бассейнах рр. Очера и Тулвы, часть из которых уже подтверждена электроразведочными данными.

При проведении структурно-поисковых работ методом показателя подземного химического стока определение фона должно производиться для каждого гидрохимического района, где климатические и геологические условия определяют однородный ход гидрогеохимических процессов.

Метод градиента минерализации

На площади локальных поднятий расширенные тектонические трещины служат путями восходящего движения к земной поверхности напорных высокоминерализованных вод нижних гидродинамических зон с замедленным водообменом.

Это явление ранее отмечалось многими исследователями Пермского Прикамья [2, 13, 29].

Интенсивное подпитывание пресных вод глубинными рассолами отражается на величине градиента минерализации подземных вод. Он представляет разность минерализации вод в двух точках, отнесенную к длине интервала глубин. Эта величина обратна гидрохимической ступени [8]. В центральных частях положительных структур градиент увеличивается с глубиной быстрее, чем на крыльях структуры или за ее пределами. Изучая характер изменения минерализации подземных вод с глубиной в верхних гидродинамических зонах, можно судить о структурных условиях того или иного участка в одном гидрохимическом районе.

Небольшая глубина залегания высокоминерализованных вод отмечена на Краснокамско-Полазненском, Чернушинском и др. валах [13]. В Очерской зоне повышенной тектонической трещиноватости, где по гидрогеологическим и гидрохимическим данным намечается крупное структурное поднятие, также имеются места подтока высокоминерализованных вод [25].

Гидрогеологические методы структурно-поисковых исследований относятся к числу наиболее простых и недорогостоящих. В то же время они достаточно эффективны и не требуют специального оборудования и особой переподготовки специалистов-гидрогеологов. Оборудование и приборы, которыми обеспечивают сейчас съемочные гидрогеологические партии полевые гидрохимические лаборатории, гидрометрические вертушки и др.), достаточны для проведения этих работ. Желательно иметь также лабораторию для анализа газов, содержащихся в воде, приборы для определения Eh и др.

Стоимость производства структурно-поисковых исследований сравнительно невелика. В Пермской области она в несколько раз меньше стоимости электроразведки. При этом следует учесть, что материалы структурно-гидрогеологических исследований могут быть использованы при изыскании источников питьевого и технического водоснабжения (законтурное заводнение и т. д.).

Основным недостатком гидрогеологических методов является невозможность установления деталей строения выявленных структур – их высоты, углов наклона крыльев и т. д.

Поэтому структурно-гидрогеологические исследования необходимо сочетать с другими методами, дающими количественную характеристику этих параметров.

В настоящей работе обобщены первые результаты структурно-гидрогеологических исследований, проведенных в южной части зоны избыточного увлажнения. В дальнейшем предлагаемые методы необходимо совершенствовать, учитывая особенности различных климатических зон и геолого-структурных районов.

Лаборатория геологии Пермского университета

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Гидрометеиздат, 1953.
2. Афанасьев Т. П. Подземные воды Среднего Поволжья и Прикамья и их гидрохимическая зональность. Изд. АН СССР, М., 1956.
3. Белоусов В. В. Структурная геология. Изд. МГУ, 1961.
4. Буданов Н. Д. Роль новейшей тектоники и связанных с ней трещинных нарушений в гидрогеологии Урала. Сов. геология, № 58, 1957.
5. Буялов Н. И. Опыт применения комплексной геологической съемки. Сб. статей Всес. заочн. политехн. ин-та, вып. 7, 1954.
6. Васильевский М. М. О гидрогеологическом районировании территории СССР. Природа, № 4, 1940.
7. Горбунова К. А. Подземная химическая денудация и активность карста в восточной части Уфимского плато. Уч. зап. Пермского университета, т. 20, вып. 1, 1960.
8. Гуревич М. С., Зайцев И. К. и Толстихин Н. И. Региональные гидрохимические закономерности артезианских бассейнов СССР. Тр. ЛГГП, т. XVI, М., 1958.
9. Зайцев И. К. Основные типы гидрогеологических структур на территории СССР. Сов. геология, № 11, 1959.
10. Игнатович Н. К. Гидрогеологическая структура – основа гидрогеологического районирования СССР. Сов. геология, № 19, 1947.
11. Каменский Г. Н., Толстихина М. М., Толстихин Н. И. Гидрогеология СССР. Госгеолтехиздат, 1959.
12. Косыгин Ю. А. Тектоника нефтеносных областей, т. 1. Гостоптехиздат, 1958.
13. Кротова В. А. Волго-Уральская нефтеносная область. Гидрогеология. Тр. ВНИГРИ, нов. сер., вып. 94, 1956.
14. Ланге О. К. О распределении подземных вод в земной коре. Проблемы гидрогеологии. Госгеолтехиздат. М., 1960.
15. Лушников Е. А. К характеристике денудации Урала. Химическая география и гидрохимия, вып. 2(3). Пермь, 1963.
16. Макаренко Ф. А. О гидрохимическом районировании грунтовых вод по химическому составу малых рек. ДАН СССР, т. 74, № 3, 1950.
17. Максимович Г. А. Химическая денудация Земли. ДАН СССР, т. ХСIII, № 4, 1953.
18. Максимович Г. А. Химическая география вод Суши. Географгиз. М., 1955.
19. Максимович Г. А. Основные типы гидродинамических профилей областей карста карбонатных и сульфатных отложений. ДАН СССР, т. 112, № 3, 1957.
20. Максимович Г. А. Классификация родников по дебиту и карстовые источники. Гидрогеология и карстование, вып. 1. Пермь, 1962.

21. Михайлов Г. К. Гидрогеологические особенности уфимских отложений Среднего Прикамья. Уч. зап. Пермского университета, т. XX, в. 1, 1960.
22. Михайлов Г. К. К химической географии притоков Воткинского водохранилища. Химическая география, вып. 1. Пермь, 1961.
23. Михайлов Г. К. К химической географии подземных вод верхнепермских отложений Среднего Прикамья. География Пермской области, вып. 1. Пермь, 1962.
24. Михайлов Г. К. Гидрогеологические особенности белебеевских отложений Среднего Прикамья. Изв. ВУЗ. Геология и разведка, № 3, 1962.
25. Михайлов Г. К. Гидрогеологические особенности татарских отложений Среднего Прикамья. Гидрогеология и карстоведение, вып. 1. Пермь, 1962.
26. Михайлов Г. К. Подземный химический сток как показатель структурно-гидрогеологических условий. Химическая география и гидрогеохимия, вып. 2(3). Пермь, 1963.
27. Мятнев А. Н. Напорный комплекс подземных вод и колодцы. Изв. АН СССР, отд. тех. наук, № 9, 1947.
28. Овчинников А. М. Значение гидрогеологии в решении вопросов стратиграфии и тектоники. Сов. геология, № 2–3, 1940.
29. Силин-Бекчурин А. И. Формирование подземных вод северо-востока Русской платформы и западного склона Урала. Тр. ЛГГП, т. IV, М., 1949.
30. Софроницкий П. А., Абрикосов И. Х. Перспективы нефтегазоносности Пермской области. Геология нефти и газа, № 10, 1959.
31. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза, т. 1. Изд. АН СССР, М., 1962.
32. Чернышев Н. И. Тектоническая трещиноватость верхнепермских отложений Пермско-Сарапульского Прикамья. Изв. ВУЗ. Геология и разведка, № 12, 1959.