

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. М. В. ЛОМОНОСОВА

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ГИДРОГЕОЛОГИИ

На правах рукописи

В. А. ИГУМНОВ

ГИДРОГЕОХИМИЯ ЗОНЫ ДЕБАКЛИНСКОГО РАЗЛОМА
(АРМЯНСКАЯ ССР)

Специальность 04.125 - Гидрогеология.

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

М О С К В А
1971

Работа выполнена в Институте геологических наук АН Армянской ССР.

Научный руководитель — доктор геолого-минералогических наук Ф.А.Макаренко

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор

В.В.Иванов

кандидат геолого-минералогических наук

Г.С.Вартанян

Ведущее предприятие: Управление геологии Совета Министров Армянской ССР.

Автореферат разослан " " _____ 1971 г.

Защита диссертации состоится " 18 " марта 1971 г. на заседании Специализированного совета по гидрогеологии Геологического факультета Московского Государственного университета им. М.В.Ломоносова.

Адрес: Москва В-234, Ленинские горы, Геологический факультет.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке геологического факультета МГУ.

Ученый секретарь совета
кандидат геол.мин.наук

/В.А.Есеволожский/

Зона Дебаклинского разлома – основная рудоконтролирующая структура Южной Армении, с которой связаны крупнейшие медно-молибденовые месторождения – Агарак, Каджаран и другие. Эта зона, являющаяся продолжением Анкавано-Сюникского глубинного разлома (Габриелян и др., 1968), разделяющего два важнейших структурных элемента мегаантиклинория Малого Кавказа – Сомхето-Кафанскую и Армянскую складчатую зону – представляет собою своеобразный шов, к которому приурочены эпицентры современных землетрясений и центры плиоцен-антропогенного вулканизма.

Исследовательские работы, проведенные автором в этом районе, и изучение фондового и литературного материала позволили рассмотреть следующие основные вопросы:

1. Влияние глубинного Дебаклинского разлома на формирование гидрогеохимических особенностей углекислых минеральных вод и способов их разгрузки.

2. Гидрогеохимическая связь глубоких горизонтов с поверхностными и возможность общего прогнозирования сейсмических явлений в связи с изменениями в химическом составе минеральных источников.

3. Некоторые особенности гидрогеохимии зон глубинных разломов.

Фактический материал собран автором при полевых работах 1963–1969 гг. Поскольку некоторые вопросы гидрогеохимического изучения зоны Дебаклинского разлома требовали ясного представления о геологическом строении и тектонических структурах района, автором проводилась крупномасштабная геолого-структурная съемка многих участков, в результате которой были выявлены и охарактеризованы ранее неизвестные системы повышенной трещиноватости (Лернашенская, Карчеванская и другие), оперяющие Дебаклинский разлом.

В процессе полевой работы было описано около 50 обнажений с массовыми замерами трещин, изучены поля распространения трещин, отобрано и проанализировано около 700 водных и газовых проб и 50 образцов горных пород.

Диссертационная работа объемом 145 страниц машинописного текста иллюстрирована 26-ю таблицами, 31-м рисунком (карты, схемы, фотографии и т.д.) и состоит из введения, шести глав, заключения и списка использованной литературы (172 наименования).

Г л а в а I

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ

Ф и з и к о - г е о г р а ф и ч е с к и й о ч е р к .

Район исследования расположен в западной части Зангезурской рудоносной области Армянской ССР. Большая часть территории представляет собою типичную высокогорную страну с резким сильно расчлененным рельефом и большими относительными превышениями водораздельных хребтов над дном ущелий и долин — до 1500 м. Главной орографической единицей является Зангезурский хребет с абсолютными отметками до 4000 м, протягивающийся в ССВ направлении, с ответвляющимися к востоку поперечными отрогами: Баргушатским, Пирамсарским и Мегри-Гюнейским хребтами.

Климат области резко-континентальный. В Зангезурском климатическом районе можно проследить все вертикальные природные пояса, свойственные Армянской ССР, от пустынно-полупустынного до горно-тундрового. Температура самых холодных месяцев доходит до -20°C , наивысшая летняя температура достигает в долине р. Аракс $40-45^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков колеблется от 260 мм в долине р. Аракс до 600-700 мм в высокогорной части.

Реки описываемой территории (Охи, Мегри, Воротан и др.) принадлежат бассейну р. Аракс. Это типичные горные реки с большими уклонами и скоростями течения. Внутригодовое распределение стока неравномерно — максимальное количество воды приносится весной.

В геологическом строении изучаемого района основное место занимают интрузивные породы крупнейшего в Закавказье Мегринского плутона и небольших массивов в бассейне р. Гехи и на склонах Баргушатского хребта. Петрографическое сходство пород Мегринского плутона с породами этих массивов и приуроченность их к одной тектонической зоне дают основание считать их частями крупного интрузивного массива, вскрытого, в основном, в южной части территории, в то время как на севере сохранились останцы вулканогенных образований нижнего и среднего эоцена. В пределах изученного района интрузивный массив обнажается на площади около 1000 км² и продолжается на юг в Иран. На долю осталь-

ных геологических образований приходится около 20% всей территории. Среди них основное место занимают: метаморфизованная вулканогенно-осадочная толща (Рз?), представленная метаморфическими сланцами и порфиритами; вулканогенная толща нижнего эоцена, представленная порфиритами, эпидотизированными туфами, туфобрекчиями и т.д.; вулканогенно-осадочные отложения среднего эоцена, представленные песчаниками, туфопесчаниками, туфобрекчиями и т.д.

Изучением геологии, петрографии, геохимических особенностей многофазного Мегринского плутона и интрузий Баргушатского хребта занимались А.Л.Додин, В.Н.Котляр, И.Г.Магакьян, С.С.Мкртчян, С.А.Мовсисян, А.И.Адамян, К.А.Карамян, Т.А.Аревшатян, Б.М.Меликсетян, Р.Н.Таян, О.П.Гюмджян и другие.

Большинство исследователей придерживается принципа последовательности внедрения разновозрастных интрузий и выделяет в пределах плутона три интрузивных комплекса: 1) габбро-монцитонитовый; 2) гранодиорит-граносиенитовый и 3) порфировидных гранодиоритов.

В пределах изученной территории широко развиты молодые (верхне-плиоценовые — ниже-четвертичные) дайки диорит-порфиров, гранодиорит-порфиров и небольшие экетрузивные тела дацитов и андезит-дацитов.

Тектонические структуры. В пределах района установлен ряд разломов, в основном сбросо-сдвигового характера. Крупным региональным нарушением является Хуступ-Гиратахский разлом, прослеживающийся непрерывно на протяжении 90 км от р.Аракс в ССЗ направлении с крутым падением на запад. Дебаклинский разлом прослеживается на юге района по зоне Агарахского нарушения, далее на севере он проходит по контакту пород монцитонитового комплекса и порфировидных гранитоидов. Разлом сопровождается зоной интенсивного дробления пород мощностью до 300 м, вытянутой в СЗ направлении от 310° до 350° и падающей на СВ под углами $50-75^{\circ}$.

Были исследованы зоны повышенной трещиноватости, оперяющие Дебаклинский разлом. Эти зоны представлены интенсивно трещиноватыми заохренными или обеленными породами на фоне более свежих. По сводным диаграммам трещиноватости выделены максимумы, соответ-

ствующие наиболее развитым системам трещин. К таким зонам повышенной трещиноватости относятся: Мегригетская, Алунская, Лер-нашенская, Карчеванская.

Очевидно, что все поверхностные структуры, из которых Дебаклинская и Ауступ-Гиратахская — основные, являются выражением на поверхности зоны крупного глубинного разлома, она условно названа в работе зоной Дебаклинского разлома.

Из двух ограничивающих шовную зону разломов Дебаклинский играет более важную роль, так как к нему приурочено проявление интрузивного магматизма, крупные месторождения полезных ископаемых, современная сейсмоактивность и т.д. Это участок повышенной проницаемости земной коры, обусловленной многочисленными тектоническими нарушениями, в результате чего зона имеет мозаичное или блочное строение, причем размеры блоков достигают 5 км. Породы сильно динамометаморфизованы с образованием узких зон дробления, рассланцевания, осложняющих, а иногда и уничтожающих мелкую складчатость; на некоторых участках зоны Дебаклинского разлома дайковые поля преобладают над реликтами вмещающих пород, часто встречаются гидротермально измененные породы.

Г е о м о р ф о л о г и ч е с к и й о ч е р к . Зона Дебаклинского разлома расположена в одной из сложных геоморфологических областей Армении, в Зангезуре, и имеет денудационно-эрозионный рельеф, осложненный вулканизмом и интрузиями. Неотектоника определила направление главных рек области, долинами которых территория Зангезура расчленена на отдельные узкие горные массивы и хребты, расположенные кулисообразно или перпендикулярно друг к другу. Сохранившиеся на отдельных участках неплененизированные водораздельные высоты и глубоко врезаемые в них речные долины свидетельствуют о происходивших молодых поднятиях, которые, вероятно, продолжаются и в настоящее время.

Г л а в а П

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОНЫ ДЕБАКЛИНСКОГО РАЗЛОМА

В пределах изученной территории на площади около 1200 км² изучено около 830 родников с суммарным дебитом 2690 л/сек.

Средний модуль подземного (родникового) стока для всей территории $\sim 2,4$ л/сек. По модулю родникового стока определена водообильность отдельных образований; песчано-глинистые аллювиальные отложения, глыбовый алювио-делювий ~ 10 л/сек/км²; песчаники, известняки, туфопесчаники и т.д. $\sim 2,8$ л/сек/км²; интрузивные породы и порфиристы $\sim 1,9$ л/сек/км².

Все воды объединяются в две большие группы: группу холодных грунтовых пресных вод, группу холодных и субтермальных напорных углекислых вод.

Грунтовы е в о д ы . В зависимости от приуроченности грунтовых вод к тем или иным литолого-петрографическим разностям пород автор выделяет три водноносных комплекса: поровые воды рыхлых и слабосцементированных четвертичных отложений, пластово-трещинные воды третичного вулканогенно-осадочного комплекса пород, трещинные воды гранитоидных интрузий и порфиритов третичного возраста.

Напорные углекислые воды по условиям залегания относятся к трещинно-жильным и приурочены к разломам и системам повышенной трещиноватости.

В основном зона Дебаклинского разлома представлена несколькими кулисообразными швами, часто запечатанными глиной трещин. Крупных месторождений или водопроявлений на таких участках нет, а углекислые родники представлены группами источников или одиночными источниками с небольшими дебитами, до 0,3 л/сек.

Так как для целей разведки месторождений углекислых вод в первую очередь следует учитывать структурные показатели, были исследованы геолого-структурные особенности основных групп углекислых вод.

Наиболее крупное месторождение трещинно-жильных углекислых вод встречено на участке Личк в зоне дробления, зажатой между субмеридиональным Дебаклинским разломом и субширотными системами трещиноватости - Алунской и Мегригетской. Это месторождение относится к разряду перспективных, так как его дебит - 500.000 л/сут.-можно увеличить каптажем существующих источников и бурением скважины до 400-500 метров в месте пересечения Дебаклинского разлома с Мегригетской зоной повышенной трещиноватости.

Иную структурную позицию занимает Лернашенская группа углекислых вод. Она приурочена к одноименной зоне повышенной трещиноватости и имеет дебит $\sim 3,5$ л/сек.

На южную группу трещинно-жильных вод большое влияние оказывает р.Аракс, являющаяся региональной дренажной системой района. Потоки углекислых вод по зонам трещиноватости просачиваются в сторону р.Аракс, где они разгружаются в русловых отложениях. Скважина (№ 53) подсекла такой поток углекислой воды с дебитом 0,8 л/сек на глубине 120 м. В работе приводятся геолого-структурные схемы групп углекислых вод.

Насыщенность углекислым газом так велика, что многие скважины фонтанируют газо-водяной смесью на высоту 15-20 м.

Все напорные углекислые воды зоны Дебаклинского разлома холодные, что объясняется приподнятостью территории (средние гипсометрические отметки - 2000 м), процессами смешения трещинно-жильных вод с грунтовыми и хорошей проницаемостью верхних горизонтов. Исключение составляет источник "Коса-джур" (22°C), расположенный в зоне Хуступ-Гиратахского разлома на высоте около 2-х км.

Несмотря на то, что углекислые напорные воды холодные, зона Дебаклинского разлома, как и вся складчатая зона Армении, характеризуется большими значениями плотности теплового потока (окв. Сисиан - 188 - 1,7 кал/см² сек, скв.Каджаран - 480 - 2,08 кал/см² сек, Игумнов и др., 1968).

Г л а в а Ш

ХИМИЧЕСКИЙ И ГАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

По химическому составу выделяются следующие типы грунтовых вод: 1) гидрокарбонатные кальциево-натриевые и гидрокарбонатные натриево-кальциевые с минерализацией до 0,4 г/л; воды подобного состава распространены на 70% всей территории. Дебит родников от 0,05 до 3,2 л/сек, температура от 6 до 18°C, pH от 6,8 до 8,0, Eh от +200 до +315 мВ; 2) хлоридно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые с минерализацией до 0,8 г/л. Их состав формируется при взаимодействии грунтовых гидрокарбонатных вод с глубинными углекислыми хлоридно-гидрокарбонатными водами. Дебит

родников от 0,1 до 2,5 л/сек, температура от 8 до 14°C, pH от 6,4 до 7,7, Eh от +200 до +270 мВ; 3) сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-натриево-кальциевые воды оконтуривают места с известным оруденением и выявляют новое поле к юго-востоку от с. Личк с предполагаемой сульфидной минерализацией. Дебит родников от 0,05 до 0,45 л/сек, температура от 12 до 18°C, pH от 4,6 до 6,8, Eh от +250 до +300 мВ.

Для районов с местным питанием, каким является зона Дебаклинского разлома, комплекс и содержание микроэлементов, особенно металлов, в пресных грунтовых водах зависит от типа горных пород, характера оруденения и геохимической близости элементов. Так как преобладающими в районе являются интрузивные породы гранитоидного состава, то в грунтовых водах встречены микроэлементы, характерные для участка развития кислых пород; B , F , As , Pb , Zn , Mn , Ba , U , Cu , Pi и реже Ag , Ni , Co , Sn .

Очень слабо соленные (Вернадский, 1960) трещинно-жильные воды зоны Дебаклинского разлома с минерализацией до 10 г/л по нормам для отнесения природных вод к минеральным (по содержанию Fe , B , F , J , K_2SiO_3 и особенно по большому содержанию CO_2), рекомендованным в 1964 г. Центральным институтом курортологии, относятся к минеральным водам и в дальнейшем будут так и именоваться.

По основным критериям оценки минеральных лечебных вод СССР (Иванов, Невраев, 1964) среди трещинно-жильных вод изученной территории встречаются: а) слабой, малой и средней минерализации; б) слабо углекислые и углекислые средней концентрации; в) железистые; г) кремнистые; д) борные.

Основное место среди минеральных вод составляют воды смешанного химического состава - хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-натриево-кальциевые и кальциевые-натриевые, pH от 6,1 до 7,8, М до 7 г/л.

Хлоридно-гидрокарбонатные кальциевые-натриевые - трассируют с поверхности места пересечений Дебаклинского разлома с системами повышенной трещиноватости, pH от 6,7 до 8,0, М до 10 г/л.

Гидрокарбонатно-сульфатные магниевые-натриево-кальциевые с большим набором рудных элементов связаны с участками сульфидного оруденения, pH от 4,2 до 6,9, М до 4,2 г/л.

Минеральные воды характеризуются большими содержаниями кремнекислоты, железа и различных микроэлементов.

Содержание H_2SiO_3 колеблется от 12 до 130 мг/л, не зависит от состава воды, от минерализации; содержание кремнекислоты увеличивается с увеличением CO_2 .

Содержание железа колеблется от 0,3 до 23,0 мг/л. Повышенное содержание железа наблюдается в гидрокарбонатно-сульфатных водах и характерно для участков оруденения, особенно - с интенсивной пиритизацией. В водах с повышенными содержаниями Fe обнаружены Mn (от 0,14 до 2,7 мг/л) и Pb (от 0,01 до 0,1 мг/л).

Микроэлементы. Химическим анализом минеральных вод и спектральным анализом сухих остатков в них обнаружено около 25 микроэлементов. Некоторые микроэлементы, сорбированные в полевых условиях на смешанном органическом сорбенте, определялись спектральным анализом предварительно сожженного сорбента по методике Бродской и других (1962). Среди микроэлементов можно выделить группу (B, As, Hg, Br, J, F), связанную с хлоридно-гидрокарбонатными водами Личского месторождения, группу основных металлов (Mg, Zn, Pb, Cu), связанную с участками оруденения и микроэлементы ($Li, Sr, Ag, Cd, Ba, Be, V, Ge, Ni$, и др.) определяющие общий комплекс микроэлементов минеральных вод зоны Дебаклинского разлома.

Окислительно-восстановительный потенциал углекислых минеральных вод района характеризуется только плюсовыми значениями (Eh от +90 до +200 мВ).

В газовом составе минеральных вод преобладает CO_2 ; количество растворенного углекислого газа достигает 2,3 г/л, в объемных процентах - 99,9%.

Глава IV

ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО И ГАЗОВОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЗОНЫ ДЕБАКЛИНСКОГО РАЗЛОМА

Грунтовые воды. Грунтовые воды формируются в зоне выветривания горных пород за счет инфильтрации атмосферных осадков, а также поглощения вод поверхностного стока. Не-

посредственное влияние Дебаклинского разлома и оперяющих его систем повышенной трещиноватости на формирование химического состава грунтовых вод выражается в появлении более минерализованных приуроченных к местам пересечения тектонических структур аazonальных хлоридно-гидрокарбонатных вод с характерными только для этого состава вод микроэлементами (B, As, F, J) на фоне пресных гидрокарбонатных вод всего района.

Минеральные воды. Острые сведения о минеральных водах отдельных участков зоны Дебаклинского разлома приводятся в работах А.П.Демехина, Н.И.Долухановой, А.А.Тер-Мартirosяна, С.Р.Крайнова и других.

Глава о минеральных водах начинается с краткого литературного обзора, в котором критически разбираются современные гипотезы формирования минеральных вод. Основную роль в сложном процессе образования минеральных вод зоны Дебаклинского разлома играют инфильтрационные воды, проникающие на значительные глубины, где они насыщаются летучими компонентами эндогенного происхождения (CO_2 , Se, As, F и др.) и, взаимодействуя с вмещающими породами, окончательно формируют свой состав.

Макрокомпоненты. В условиях распространения кислых интрузивных пород основными источниками ионов-макрокомпонентов являются породообразующие минералы. Для характеристики интенсивности водной миграции элементов был использован коэффициент водной миграции, предложенный Перельманом (1965). Для большинства минеральных вод $r_{\text{Na}^+} > r_{\text{Ca}^{2+}} > r_{\text{Mg}^{2+}}$.

Среди анионов преобладает гидрокарбонат-ион, появление которого в минеральных водах обусловлено, в основном, насыщением их углекислым газом. На втором месте стоит хлор-ион. Так, как генезис хлора в минеральных водах зоны Дебаклинского разлома спорный и так как в дальнейшем при изучении влияния сейсмических явлений на режим и химический состав источников основной упор делается на хлор, то генезису хлора посвящено специальное исследование.

Выяснено, что с атмосферными осадками поступают незначительные количества хлора: 2,20 мг/л - выше 2000 м, 2,98 мг/л - от 1200 м до 2000 м, 6,2 мг/л - ниже 1200 м.

Рассмотрена роль вмещающих пород как поставщиков хлора.

Распределению хлора в различных породах и минералах посвящено много работ (Щербина, 1963; Павлов, 1963; 1968; Корренс, 1958; Киселева, 1968; *Johns, Huang*, 1967; *Johnsen, Steinnes*, 1967; *Flanagan*, 1967; *Noble, Smith, Peck*, 1967; *Billings, Williams*, 1967 и др.). Так как основное место в изученном районе занимают интрузивные породы, кратко рассматривается геохимия хлора в магматическом процессе.

Среди возможных источников хлора из интрузивных пород в минеральные воды зоны Дебаклинского разлома указываются: хлор в газовой-жидких включениях; хлор в составе собственных минералов, таких как содалит, хлор-апатит, эвдиалит и др., представляющих лишь минералогический интерес в данных условиях; хлор, входящий в кристаллическую решетку других минералов, в основном, слюд и амфиболов.

Для выяснения роли пород как источников хлора в минеральные воды основные петрографические разности интрузивных комплексов анализировались на хлор. Анализ полученных результатов показывает, что средняя концентрация хлора для пород монцонитового комплекса - 1200 ч.н.м. (частей на миллион), гранодиоритового комплекса - 2000 ч.н.м. и для порфировидных гранитоидов - 4000 ч.н.м. Для получения более обоснованных выводов результаты анализов хлора в породах и в водах, формирующих свой химический состав в этих породах, подвергались статистической обработке. Распределение хлора в водах и породах сравнивалось с помощью гистограмм. Если для пород монцонитового и гранодиоритового комплекса и для вод, формирующих свой химический состав в них, по нашей выборке фактического материала средние концентрации хлора можно считать одинаковыми и кривые распределения имеют левостороннюю асимметрию и сходную конфигурацию, то для пород комплекса порфировидных гранитоидов эти характеристики резко отличаются. Так как основные источники минеральных вод порфировидных гранитоидов находятся в местах пересечения Дебаклинского разлома с Мегригетской, Алунской и другими зонами повышенной трещиноватости, то здесь наряду с породами большое значение приобретает глубинный источник хлора.

Для определения доли интрузивных пород как поставщиков хлора проводились анализы водных вытяжек из этих пород. Выясни-

лось, что воднорастворимая часть хлора в интрузивных породах района составляет от 1 до 5% общего содержания, при углекислотном выщелачивании - до 15%.

Коэффициент водной миграции по хлору, вычисленный отдельно для минеральных углекислых вод (от 15 до 286) и грунтовых пресных вод (от 8 до 24) показал контрастность почти на порядок, что скорее всего указывает на процесс накопления хлора в глубинных условиях, чем на большую степень выщелачиваемости, так как в подобных условиях растворимость соединений хлора почти одинакова.

Считая, что воды разломов имеют трещинный тип, и поскольку многочисленные трещины, изученные автором в поле, часто имеют переработанные стенки, можно предположить, что взаимодействие вода - порода слабое. Учитывая, что гидродинамическая система зоны Дебаклинского разлома существует минимум 50.000 лет, а чем свидетельствуют поля травертиновых отложений, расположенные на различных гипсометрических отметках, можно оценить промытость пород по отношению к хлору с помощью ориентировочного баланса. Для этого выбран участок зоны Дебаклинского разлома со своей областью питания и разгрузки подземных вод только в интрузивных породах Мегринского плутона, чтобы исключить влияние остальных пород. Учитывая все приходные и расходные статьи баланса, можно считать, что почти весь хлор должен был быть выщелоченным, если породы считать единственным источником хлора. Очевидно, что в минеральные воды зоны Дебаклинского разлома поступают глубинные добавки хлора. При изучении генезиса хлора в минеральных водах других районов к подобным выводам пришли Дершгольц (1962, 1968), Дзюба (1968), Ходжоян (1966), Rubey (1966), White (1933, 1967) и другие.

Источником сульфат-иона служат, в основном, сульфидные минералы, особенно пирит, и наиболее обогащены сульфатами воды Дастакертского, Лернашенского, Агараковского и других участков сульфидного оруденения.

Рассматривая состав водных и водно-углекислых вытяжек из различных пород Мегринского плутона и интрузий Баргушатского хребта, можно заметить, что их катионный состав характеризуется $Ca > Na > Mg$, в то время как анионный состав для пород мондонитового комплекса и порфириров - $HCO_3 > SO_4 > Cl$, а для

гранодиоритового комплекса — $HCO_3 > Cl > SO_4$. Сравнивая состав вытяжек с минеральными водами зоны Дебаклинского разлома, можно заметить их сходство, которое нарушается для участков сульфидного оруденения с резко выраженными сульфатными водами и для участка Личк с хлоридно-гидрокарбонатными и гидрокарбонатно-хлоридными водами.

Микроэлементы. Геохимия микроэлементов в минеральных водах зоны Дебаклинского разлома определяется с одной стороны составом вмещающих пород, тектонической обстановкой и эндогенными источниками, с другой — физико-химической характеристикой самих вод.

Фтор. Концентрация изменяется от 0,01 до 1,6 мг/л. Коэффициент водной миграции находится почти в пределах одного порядка (от I до IV) как для грунтовых пресных, так и для минеральных вод, т.е. существенных различий между переходом фтора из пород в воду как для глубинных, так и для близповерхностных условий не наблюдается. Эмпирическая зависимость показала уменьшение содержания фтора с увеличением минерализации. Распределение фтора в водах различных комплексов пород Мегринского плутона слабо подчиняется петрографическим критериям. Геохимическая среда минеральных вод района в общем не благоприятна для накопления фтора: $pH < 8$, температура до $22^\circ C$; особое значение имеет большое содержание Ca , так как он в системе Ca^{++} и F^- понижает растворимость флюорита, основного источника фтора из интрузивных пород. Поэтому аномальные содержания фтора (до 1,6 мг/л), зафиксированные в источниках, приуроченных к основным швам зоны Дебаклинского разлома, и на порядок превышающие среднюю концентрацию, указывают на дополнительный эндогенный источник фтора.

Бром и йод. Концентрация брома изменяется от 0,1 до 10 мг/л, йода — от 0,005 до 0,72 мг/л. Анализ водных вытяжек из различных интрузивных пород предполагал обнаружить бром и йод, рассеянные в элементарной форме в микротрещинах; однако, йод не был обнаружен вообще, а что касается брома, то его перешло в вытяжку всего 2% от общего содержания в породе. Очевидно бром и йод в интрузивных породах района, в основном, входят в кристаллические решетки хлоросодержащих минералов за счет изоморфного замещения

хлора. Наблюдается зависимость содержания брома и йода от степени минерализации. Кривые распределений йода и брома в зависимости от состава пород показали, что содержание брома в минеральных водах не зависит от петрографического состава интрузивных пород, а повышенные содержания йода обнаружены в источниках, находящихся в месте пересечения Дебаклинского разлома с Мегригетской зоной повышенной трещиноватости. Интересно, что повышенные содержания I_d в этих же источниках подчеркивают и йодные пики, что, вероятно, связано с образованием йодно-ртутных комплексов, выносимых с больших глубин в составе газовой смеси.

Бор. Концентрация колеблется от десятых долей до 33 мг/л. Кривая распределения показала зависимость содержания бора в минеральных водах от петрографического состава пород - пики содержания бора устойчиво держатся в области пород завершающей фазы - порфировидных гранитоидов - и снижаются в области распространения монцитов и порфиритов. Известно, что боросиликаты, в частности турмалин, слабо растворимы в воде, поэтому приуроченность аномальных содержаний бора к тектонически активной зоне не исключает и глубинной составляющей.

Мышьяк. Содержания колеблются от 0,005 до 0,14 мг/л. Повышенные содержания As ассоциируются с большими содержаниями Se и B . Учитывая обычную бедность интрузивных пород мышьяком, наличие активных разломов можно полагать, что значительная часть мышьяка в хлоридно-гидрокарбонатных углекислых водах зоны Дебаклинского разлома имеет эндогенный характер.

Методами математической статистики проверена связь микроэлементов, имеющих частично глубинное происхождение, с хлором, для которого эндогенные добавки в минеральные воды зоны Дебаклинского разлома доказаны лучше. С помощью рангового коэффициента корреляции Спирмена для содержаний пар элементов $B - Se$, $As - Se$, $I - Se$ была выявлена зависимость, близкая к линейной, для пары $Se - Se$ - зависимость нелинейного типа.

Стронций. Содержание колеблется от 0,74 до 9,4 мг/л. Источником поступления стронция служат вмещающие породы, возможно поступление Str за счет гидротермального целестина. Между содержанием стронция и кальция существует линейная зависимость. Стронций накапливается в более минерализованных водах.

Литий. Содержание колеблется от 0,1 до 0,28 мг/л. Имеет некоторую тенденцию накапливаться в хлоридно-гидрокарбонатных водах. Источниками *Li* являются литийсодержащие минералы интрузивных пород, особенно - пегматитовых образований.

Молибден. Медь. Цинк. Основные рудные элементы в минеральных водах не имеют закономерного распределения по породам различных фаз Мегринского плутона. *Cu* и *Zn* связаны, в основном, с сульфатными и сульфатно-гидрокарбонатными водами, *Mo* характерен почти для всех типов вод.

Остальные микроэлементы (*Co*, *Ba*, *Pb*, *Ag*, *Cd*, *Be*, *P*, *V*, *Zr*, *Sn*, *Ni*, *Cr*, *Fe* и др.) обнаружены в малых количествах и их гидрогеохимия изучена пока недостаточно.

Углекислый газ. Предыдущие исследователи (А.П. Демехин, А.А. Тер-Мартirosян, А.Л. Ананян и др.) считали источниками CO_2 в минеральных водах зоны Дебаклинского разлома, как молодую магматическую деятельность, так и процессы термометаморфизма. Метаморфические процессы (интрузивные и региональные) требуют с одной стороны высоких температур (600-700°C), если они происходят без участия воды, с другой - наличия карбонатных пород, метаморфизованные остатки которых изредка встречаются в районе. Наличие пропилитизированных пород говорит о значительных количествах CO_2 в палеогасторах, так как карбонат-пирит-хлоритовый парагенезис минералов возникает под действием слабо кислых хлоридно-натриевых растворов, содержащих большое количество углекислоты при температурах около 160°C и на глубине 300-800 м. Существующие разломы и блоковое строение не позволяют CO_2 накапливаться в значительных количествах на глубине. Очевидно, происходит непрерывное улетучивание CO_2 , связанное или с магматической деятельностью или с дегазацией мантии.

Отложения минеральных вод. Почти все минеральные источники сопровождаются травертиновыми и другими отложениями. Это - рыхлые осадки с довольно сложным составом, основную часть которого составляет карбонат кальция; часто встречается кальцит с прослойками гидроокиси железа. Мощность щитов небольшая, от 1 до 4,5 м. В условиях поднимающейся горной страны опускание базиса эрозии отделяет источник от его травертинового щита, который, оставаясь на склоне, подвергается размыву и механическому рас-

сеиванию.

Выделение CO_2 и в связи с этим расщепление бикарбонатного водного комплекса $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ является преобладающим процессом осаждения травертинов, однако, большую роль играют и процессы смешения, изменение давления и температуры.

В химическом составе травертинов, кроме кальция, спектральным анализом установлены значительные количества Al , Mg , Na , Fe , Mn , Sr , Si , K , реже встречаются Ba , Li , V , P и т.д. В работе приводятся анализы различных травертиновых образований, позволяющие проследить условия накопления травертинов и изменение состава палеоминеральной воды. Например, от древних к молодым разностям травертинового щита в ущелье р. Мегригет происходит уменьшение Si , что скорее всего указывает на уменьшение температуры воды во времени; это подтверждается и находками арагонита, характерного для термальных вод, в древних травертинах при отсутствии его в современных.

Проследив миграцию источника, отмеченную травертиновыми остатками в долине р. Шенатаг, можно приблизительно установить его минимальный возраст. Исходя из относительного превышения древнего травертина над современным минеральным источником (около 100 м) и выводов Милановского (1968) — 2 мм/год для поднятия горной системы Малого Кавказа — можно считать, что этот источник существует минимум 50.000 лет.

Г л а в а У

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОТЕОХИМИИ ЗОН ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ

Зона Дебаклинского разлома является крупным нарушением, пересекающим земную кору до ее подошвы. В процессе развития разлома происходило его залечивание магматическими новообразованиями и последующая его активизация. Обычно линейно вытянутые тела гранитоидов, проявляющихся вслед за складчатостью, трассируют среднеглубинные разломы, поэтому, судя по приуроченности Мегринского плутона и интрузий Баргушатского хребта к системам сколовых трещин зоны Дебаклинского разлома, его можно отнести к категории

среднеглубинных разломов. Недавние вулканические излияния, очаги современных землетрясений позволяют считать Дебаклинский разлом активным и по сей день.

На основании работ Виноградова, Белоусова, *Vening-Meinesz*, *Aubeu*, *Culpe* и других рассматривается связь мантийных процессов с корой и вынос летучих в земную кору по зонам глубинных разломов.

По литературным данным рассматривается формирование сильно минерализованных вод крупных и современно активных разломов, для которых на современном этапе доказано поступление мантийного или магматического материала, особенно летучих компонентов в верхние части земной коры: Сан-Андреас (*White*, 1965; *Doe*, *Hedge*, *White*, 1966; *Skinner*, *White*, *Rose*, *Mays*, 1967; Смирнов, 1967 и др.); Красное море (*Menard*, 1960; *Cook*, 1962; *Drake*, *Girdler*, 1958; 1964; *Miller and other*, 1966; Гайнанов и др., 1967 и др.) разлом Акаба - р.Иордан - Мертвое море (*Bentor et al.*, 1961; *Serman*, 1967; Сулин, 1946; Посохов, 1968 и др.); Алигул-Куртепинский разлом, Челекен (Лебедев, Бугельский, 1967; Лебедев, Бугельский, 1968); разломы Армении (Ананян, 1962; Ходжоян, 1966; Игумнов, 1966 и др.).

Была составлена сводная таблица составов минерализованных вод активных разломов и таблица отношений основных элементов, и они сравнивались с составами вод вулканических областей в СССР, США и Новой Зеландии, с рассолами осадочной оболочки, с воднорастворимым комплексом элементов из гранитоидов и с вытяжками из газово-жидких включений.

Анализируя особенности всех вод, связанных с глубинными разломами, можно заметить, что все они отличаются относительно повышенными содержаниями легколетучих компонентов (ce , g , z , CO_2 и др.) и реже металлов (Fe , cu , Pb , Zn и т.д.). Наиболее четкие границы вод разного генезиса проводятся по отношению ce/gr . Для вод вулканических областей, зон глубинных разломов оно колеблется от 900 до 10 000, рассольные воды осадочной оболочки и воднорастворимый комплекс из гранитоидов показывают ce/gr не превышающие 300, что ближе к ce/gr в воле океана и в усредненной воде рек (300-800). ce/g тоже отличает воды разломов и вулканических областей (160-1600) от морской

воды и особенно от рассольных вод ссадочной оболочки (10 000 - 100 000). Так же рассматриваются отношения ce/v , na/ce , k/na , ce/nso_2 , Fe/ce .

Из нехимических критериев для выявления связи какой-то части солевого состава минерализованных и рассольных вод с глубинными разломами можно отметить:

а) структурные; наиболее благоприятные условия для проникновения летучих компонентов с больших глубин на поверхность возникают в местах пересечения двух или нескольких разломов;

б) современная тектоническая и сейсмическая активность, при землетрясениях осуществляется тектоническая связь глубоких горизонтов с близповерхностными;

в) тепловой поток; большие плотности тепловых потоков над зонами глубинных разломов предполагают эндогенный теплоноситель, в составе которого основное место занимают соединения летучих компонентов.

Г л а в а VI

СЕЙСМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ГИДРО-ГЕОХИМИЮ ЗОНЫ ДЕБАКЛИНСКОГО РАЗЛОМА

9 июня и 1 сентября 1968г. в Зангезуре произошли сильные землетрясения с интенсивностью толчков - 7-8 баллов, обусловленные подвижками по плоскостям зоны Дебаклинского разлома. Будучи во время основных толчков и афтершоков в эпицентральной области, автору удалось зафиксировать различные последствия этих землетрясений.

В работе рассматриваются магнитуды, глубины очагов и балльность землетрясений этого района в прошлом, причины землетрясений и возможность их в будущем. Определена длина разлома (около 30 км), по которому произошли смещения в результате землетрясений (по *Focher*, 1963) и глубина распространения разлома (до 40-50 км, т.е. до подошвы коры). С помощью механизма афтершоков (Бениофф, 1952) объясняется тектоническая связь между глубоким распространением разлома и поверхностным слоем основных направлений. Такая принципиальная схема тектонической связи поверхностно-

го (до 10-15 км) и глубинного слоя (до подошвы коры) дает возможность объяснить, каким образом легколетучие компоненты, прежде сконцентрированные в зонах глубинных разломов, на глубине 10 км расходятся по определенным системам тектонических трещин и в верхних горизонтах подключаются к инфильтрующим водам.

Землетрясение 1968г. оказало большое влияние на минеральные источники зоны Дебаклинского разлома, особенно на родники Личкской группы, находившейся в эпицентральной области. После землетрясения иссякли некоторые минеральные источники, появились новые, увеличился дебит некоторых выходов, и т.д. Более интересные изменения произошли в химическом составе минеральных вод. В источниках Личк-главный, Саккар и другие, увеличилось содержание Se , CO_2 . По работам предыдущих исследователей - Демехин, Долуханова (1946-1957) и результатам автора (1964-1969) выяснилось, что содержание хлора в этих источниках до землетрясения уменьшалось с $\sim 1,2$ г/л до $\sim 0,8$ г/л (Личк) и с ~ 1 г/л до $\sim 0,78$ г/л (Саккар). Тогда было высказано предположение (Игумнов, 1966), что увеличивающиеся тектонические напряжения перекрывают пути глубинных поступлений хлора в минеральные воды зоны Дебаклинского разлома. После землетрясений 1968 г. это предположение подтвердилось, количество хлора в источнике Личк возросло до 2 г/л. Таким образом, изменение концентрации хлора явилось своеобразным отражением сейсмической активности зоны и может служить одним из показателей в комплексном прогнозе землетрясений.

Хотя в ряду подвижности Коржинского хлор находится правее CO_2 , оперировать с хлором удобнее, так как углекислый газ легко перераспределяется при изменениях давления, в то время как хлор, попадая в минеральную воду, устойчиво остается в ней, так как в данных условиях ей далеко до насыщения хлором.

Предлагается схема процесса изменения концентрации хлора совместно с изменением минерализации и дебита в источнике Личк-главный до и после землетрясения. С помощью рангового коэффициента корреляции установлена линейная связь между минерализацией и содержаниями CO_2 и связь нелинейного типа между минерализацией и содержаниями хлора в минеральных водах Личкской группы. По формуле $M_{см.} = \frac{M_n + n M_{np}}{1 + n}$ ("Методические указания по поискам, разведке и оценке эксплуатационных запасов месторождений минеральных вод", 1970) для каждого года подсчитано отноше-

ние расходов пресного и минерального потока в источнике Личк-главный.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными результатами исследований автора являются:

1. Поверхностные тектонические структуры, из которых Дебаклинская и Хуступ-Гиратахская — основные, являются выражением зоны крупного глубинного Дебаклинского разлома.

Приуроченность к этой зоне эпицентров современных землетрясений, центров плиоцен-антропогенного вулканизма, глубинных добавок легколетучих компонентов в минеральные воды свидетельствуют о современной активности разлома.

2. Наиболее значительные ресурсы трещинно-жильных напорных углекислых минеральных вод встречены на участках пересечения Дебаклинского разлома с субширотными зонами повышенной трещиноватости.

3. Тепловой поток в зоне Дебаклинского разлома значительно превышает средний тепловой поток для Земли (скв. Сисиан-188, $1,7 \text{ кал/см}^2 \text{сек}$, скв. Каджаран — 480, $2,08 \text{ кал/см}^2 \text{сек}$).

4. Основную роль в сложном процессе формирования углекислых минеральных вод зоны Дебаклинского разлома играют инфильтрационные воды, проникающие на значительные глубины, где они насыщаются, в основном, летучими компонентами глубинного происхождения (CO_2 , C_2H_6 , As и др.) и, взаимодействуя с вмещающими породами, окончательно формируют свой состав.

5. Из гидрогеохимических особенностей вод, связанных с глубинными разломами, нужно отметить повышенные содержания летучих компонентов (C_2H_6 , CO_2 , H_2 , I , F и др.) и реже металлов (Fe , Cu , Pb , Zn и т.д.).

По отношениям $\text{C}_2\text{H}_6/\text{H}_2$, $\text{C}_2\text{H}_6/\text{I}$, $\text{C}_2\text{H}_6/\text{HCO}_3$ и другим воды зон глубинных разломов приближаются к водам вулканических областей и отличаются от рассольных вод осадочной оболочки, от воднорастворимого комплекса из гранитоидов и вытяжек из газово-жидких включений.

6. Изменение концентрации хлора в гидрокарбонатно-хлоридных водах зоны Дебаклинского разлома до и после землетрясения

1968 г. явилось отражением сейсмической активности зоны и может служить одним из показателей в комплексном прогнозе землетрясений.

Гидрохимические наблюдения — один из методов общего прогнозирования землетрясений (Горшков, 1968; Боробьев, Закиров, 1968 и др.).

СПИСОК РАБОТ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Геологическое строение, гидрогеологические условия и некоторые особенности гидрогеохимии приразломной части Мегринского плутона. Автореферат доклада. БМОИП, т. 41, № 3, 1966.

2. Личская группа углекислых минеральных вод. Промышленность Армении, № 1, 1968 (соавтор А.Г. Кочарян).

3. Вопросы формирования хлоридных натриевых вод Армянской ССР. Материалы научного семинара по проблеме формирования хлоридных кальциево-натриевых вод, ВСЕГИНГЕО, 1968 (соавторы: Н.И. Долуханова, А.Л. Ананян, М.П. Ходжоян, Э.С. Халатян).

4. Тепловой поток по скважине Каджаран — 480. Доклады АН Арм.ССР, том 46, № 3, 1968 (соавторы: А.А. Аветисянц, А.Л. Ананян).

5. Интерпретация гидрогеохимических данных в связи с гипотетическим глубинным разломом (по разломам южной Армении). БМОИП, т. 43, № 6, 1968.

6. Минеральные воды Мегринского района. Геология Арм.ССР, том IX, Минеральные воды, 1969 (коллектив авторов).

Основные положения диссертации излагались:

1. На юбилейном совещании ИГН АН Арм.ССР, посвященном 100-летию со дня рождения В.И. Ленина. Ереван, 1970г.

2. На III-ей Всесоюзной конференции по гидрогеохимическим методам поисков полезных ископаемых. Томск, 1971.

Заказ 52 Тираж 200экз. Подписано в печать 2/2-71г. Л-81563

Печатно-множительный цех Мосгорснаббита

2017