

А. М. КУЗНЕЦОВ

К ВОПРОСУ О МЕТАМОРФИЗМЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЛЕВШИНО \*

(Представлено академиком В. И. Вернадским 24 XII 1938)

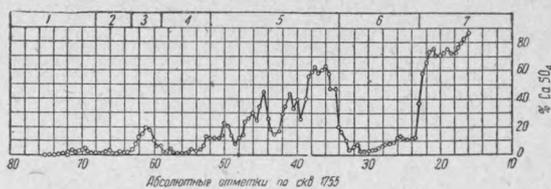
Изучая физико-химические свойства подземных вод Левшино, мы встретились с весьма интересным фактом существования в одном горизонте различных по составу и минерализации вод, а равно также и однотипных в литологически разных породах. Эти воды заслуживают внимания (1) еще и тем, что на глубине всего лишь 40—50 м находятся богатые хлористым кальцием и магнием рассолы с высоким содержанием калия, брома и иода. Детальная изученность вод и большой объем фактического материала представляют редкую возможность для решения вопроса их генезиса.

Подземные воды Левшино размещаются в казанских и верхнекунгурских отложениях (под поймой и руслом р. Камы) на глубинах до 80 м. Породы имеют слабое падение на юг при отсутствии дизъюнктивных тектонических нарушений. Пласты верхнекунгурских пород в южной части района залегают под мощным слоем казанских отложений, а в северной, где последние смыты эрозией, головы этих пластов прикрыты речными наносами.

Породы кунгура (мергели и доломиты) характеризуются значительным содержанием гипса и малым — хлорида натрия; последний присутствует также в гипсах и ангидритах. Отличительной особенностью ангидрита, гипса, доломитов и мергелей нижних зон является свойство давать при изломе запах сероводорода.

Распределение гипса в толще свидетельствует о ритмичном затухании отложений сульфата кальция в хронологической летописи осадконакопления в кунгурском море (фиг. 1).

В пределах разведанной местности (20 км<sup>2</sup>) все породы в той или иной степени трещиноваты и водоносны. Трещиноватость при домини-



Фиг. 1.—Распределение CaSO<sub>4</sub> в толще пород: 1—песчанико-глинистая, 2—плитчатые известняки, 3—светлые доломиты, 4—известковистые мергели, 5—гипсоносные мергели и доломиты, 6—глинистые и полосчатые доломиты, 7—гипсы и ангидриты. Кривая построена на 1 000 анализов определения SO<sub>4</sub> в породах при сплошном опробовании керна 10 скважин.

\* В 20 километрах от г. Перми вверх по р. Каме.

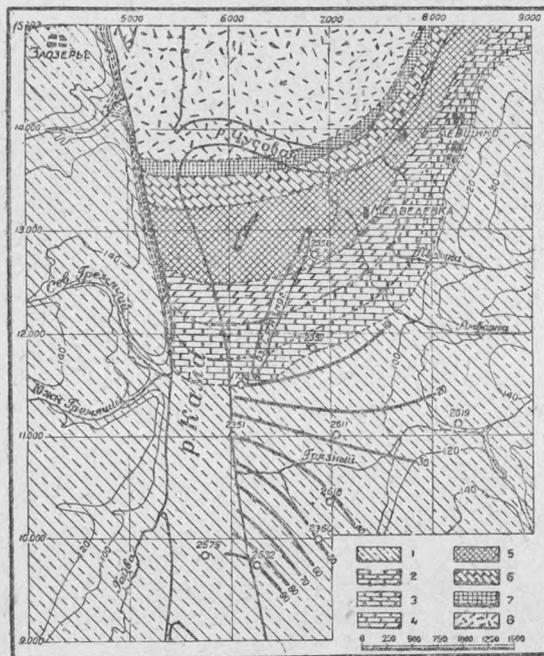
рующем меридиональном направлении трещин наибольшего развития достигает в долине р. Камы, там, где водоупорная кровля коренных пород (аргиллиты) смыта эрозией. Напротив, трещиноватость затухает в направлении коренных берегов и по падению пластов пород по мере удаления от места выхода их на дневную поверхность. Таким образом подземные воды имеют локальное распространение—приурочены к долине Камы и функционально связаны с трещиноватостью.

Существование трещинных вод должно свидетельствовать о наличии пестроты минерализации их, ибо последняя зависит от длины пути, пройденного водой по трещине, а также и от

очередности ее поступления в породу. В действительности в водах обнаружено сильное варьирование в содержании растворенных веществ, от долей г до 150 г на л. Однако минерализация закономерно растет с глубиной залегания вод и сопровождается отчетливым изменением в химическом составе.

Химический состав вод очень разнообразен и настолько тесно связан с минерализацией, что нельзя встретить присутствие сернокислого натрия в рассолах или хлоридов магния и кальция в водах слабой минерализации. По составу воды охватываются следующей схемой: 1) бикарбонатно-кальциевые с минерализацией до 0.5 г, 2) сульфатно-кальциевые — от 0.5 до 5.0 г, 3) сульфатно-натриевые—5.0—25.0 г и 4) хлоридные с минерализацией выше 25 г. Между этими группами много переходных разностей.

Воды нижних зон—5 и 6—имеют сероводород, наибольшее содержание которого достигает 340.0 мг на л.



Фиг. 2.—Геологическая карта района Левшино с изолиниями минерализации вод глинистых и полосчатых доломитов. 1—песчанино-глинистая толща, 2—плитчатые известняки, 3—светлые доломиты, 4—известковистые мергели, 5—гипсоносные мергели и доломиты, 6—глинистые доломиты, 7—полосчатые доломиты и 8—гипсы и ангидриты.

Температура вод изменяется в пределе 2—6°, причем в нижних зонах 3—5°. Средняя годовая для г. Перми +1°.5.

Свойства вод зоны глинистых и полосчатых доломитов, как и других зон, претерпевают весьма заметные изменения. Минерализация их колеблется от 2 до 100 г на л, при этом замечательным является то, что она закономерно растет в направлении падения пластов пород; это достаточно отчетливо иллюстрируется изолиниями минерализации вод этой зоны (фиг. 2). Характер расположения изолиний, нанесенных на геологической карте, свидетельствует о тесной зависимости величин общей минерализации вод с геологическим строением. Состав же этих вод находится в зависимости от минерализации, и следовательно типы вод этой зоны имеют строгое территориальное распределение их в данной зоне (таблица).

Состав вод глинистых и полосчатых доломитов в г/л

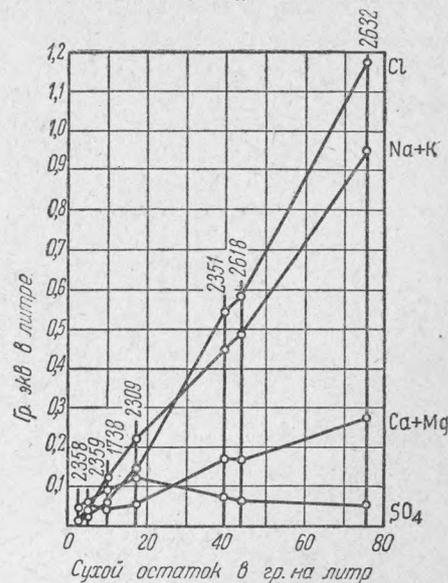
Дата отбора пробы	Скважина, №	Обнаженный участок, м	Расстояние от выхода пород на поверхность	Сухой остаток	Na	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S
1937, III	2358	43—56	0.9	2.668	0.073	0.533	0.095	0.070	1.602	0.207	
» VIII	2358	43—56	0.9	2.852	0.075	0.539	0.106	0.051	1.650	0.189	0.005
» III	2359	50—56	1.7	5.188	0.799	0.541	0.154	0.962	2.153	0.150	Не опр.
» III	1738	48—56	1.9	10.496	2.491	0.468	0.281	2.038	4.507	0.159	
» VIII	1738	48—56	1.9	10.360	2.484	0.468	0.292	2.103	4.477	0.164	0.018
Ср. 10 за 1936—1937	2309	59—69	2.5	18.648	5.212	0.426	0.348	5.283	5.867	0.390	0.018
1937, III	2619	73—93	2.6	24.848	7.075	0.909	0.395	10.653	3.891	0.245	Не опр.
» VIII	2611	55—69	2.5	29.180	8.962	0.975	0.358	13.801	3.563	0.255	0.043
» III	2351	55—77	2.6	40.928	10.500	1.553	1.239	19.837	3.479	0.245	0.033
» VIII	2351	55—77	2.6	38.400	9.403	1.556	1.126	17.826	3.499	0.213	
» III	2618	56—74	3.4	43.760	11.351	1.752	1.032	21.240	3.035	0.191	0.070
» VIII	2618	56—74	3.4	40.424	10.922	1.600	0.886	19.647	3.377	0.196	
» III	2632	57—78	3.7	75.820	21.954	2.862	1.717	41.761	2.863	0.275	
» VIII	2632	57—78	3.7	94.248	27.185	3.051	1.779	50.028	3.110	0.297	Не опр.

Анализ кривых фиг. 3 показывает, что воды изменяются от сульфатно-кальциевого типа с малой минерализацией, через сульфатно-натриевый средней минерализации, к хлоридному с высокой. Линия суммы эквивалентов натрия и калия пересекается с линией хлор-иона, а линия суммы кальция с магнием пересекается с линией сульфат-иона. Точки пересечения их отвечают минерализации 25—30 г. Воды такого переходного состава с содержанием щелочных металлов, почти эквивалентным хлору, встретились в глинистых доломитах в скважинах 2611 и 2619.

Крайне интересно здесь то, что местоположение этих скважин на участке удовлетворяет условию распределения вод в толще глинистых доломитов, иными словами, скважины находятся между изолиниями 20 и 30 (фиг. 2).

Такое же изменение состава вод в зависимости от минерализации наблюдается для вод всей толщи района в вертикальном направлении.

Явление смены вод объясняется физико-химическими процессами, протекающими между осадочными породами и перемещающимися по трещинам растворами. Поступающая с поверхности в гипсоносную породу вода быстро насыщается гипсом, что выяснено экспериментально. Про-



Фиг. 3.—Зависимость состава подземных вод от минерализации.

двигаясь по породе далее, она путем обменной реакции, в которой кальций раствора вытесняет натрий, калий и магний из породы, обогащается их сульфатами. По отношению к гипсу раствор остается все время насыщенным вследствие высокого содержания его в твердой фазе. Одновременно с этими процессами происходит выщелачивание хлорида натрия, что также увеличивает концентрацию.

Значительное накопление натрия в растворе реакцию обмена приводит к обратной. Начиная с концентрации натрия около 0.25 г-экв, что приблизительно соответствует 25—30 г солей на литр, реакция обмена принимает противоположное направление, а именно: натрий раствора вытесняет из породы кальций. С этого момента уменьшается содержание сульфат-иона, что и отмечается перегибом кривой, а концентрация натрия хотя и увеличивается, но менее интенсивно, чем концентрация хлор-иона. После того как концентрация натрия достигает 0.3—0.4 г-экв, в воде появляются хлориды кальция и магния, и она постепенно переходит в рассол.

Замещение натрия кальцием влечет за собой глубокие следы изменения в составе вод. Известно, что содержание гипса в растворе снижается с увеличением концентрации ионов кальция (<sup>2</sup>, <sup>3</sup>). Вытеснение кальция породы вызывает выход из раствора сульфата, который выпадает в виде гипса, что способствует значительному накоплению в растворе калия и магния в виде хлоридов, содержание которых в одном рассоле обнаружено очень большим. Анализ этого рассола следующий:  $t^{\circ}$ —4.6°; уд. вес—1.093; pH—6.62; сухой остаток 143.52 г; Na—29.43; K—9.81; NH<sub>4</sub>—0.03; Ca—6.87; Mg—4.82; Sr—0.082; Cl—78.79; Br—0.15; J—0.017; SO<sub>4</sub>—1.76; HCO<sub>3</sub>—0.064; SiO<sub>2</sub>—0.005; R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—0.012; Ra—2.4·10<sup>-11</sup>, H<sub>2</sub>S—нет.\* :

Образованию рассолов помимо выщелачивания и обменных реакций, ведущих к росту концентрации солей в растворе, вероятно способствовало также и явление смачивания породы водой. Мной экспериментально проверено, что при достаточно высоких концентрациях солей в воде порода при смачивании ее рассолом поглощает молекул воды больше, а солей меньше, чем следовало бы по пропорциональности их в растворе.

Нами в опытах последовательного выщелачивания глинистого доломита и гипса получены воды с содержанием растворенных веществ в 26—27 г на л. В водах выщелачивания глинистого доломита наблюдалось сильное возрастание концентрации хлорида магния (минерализация увеличилась в 8.7 раза, а MgCl<sub>2</sub> в 100 раз). Такое поведение магния нельзя объяснить только выщелачиванием, здесь имел место обмен катионами между раствором и частицами глинистого доломита. Это находит подтверждение и в том, что в водах выщелачивания природного гипса обнаруживались только соли CaSO<sub>4</sub> и NaCl.

Описанные Роджерсом (<sup>4</sup>) подземные воды нефтяных месторождений Калифорнии, свойства которых находятся в зависимости от их географического местоположения и глубины залегания, представляют, по нашему мнению, яркий пример взаимодействия растворов и пород, они являются отражением природного процесса, еще мало изученного в гидрохимии. Особенно интересным в этих водах является наличие вод разных типов в одном горизонте, что до известной степени напоминает свойства и характер распределения вод Левшино.

В. А. Сулин, изучая подземные воды нефтяных месторождений западного Приуралья, приходит к выводу, что формирование состава вод толщи химических осадков Перми, в районе В.-Чусовских Городков, представ-

---

\* Проба взята из скв. 2622, расположенной на 360 м севернее скв. 2618 (фиг. 2), из глинистых доломитов—верхней части зоны гипсоносных доломитов и мергелей, с глубины 41 м.

ляет собой дальнейшую эволюцию химического состава проникающих сюда поверхностных вод под воздействием растворения гипса и каменной соли<sup>(5)</sup>.

Все воды зоны глинистых доломитов содержат сероводород, присутствие которого не характеризует типа воды. Не предвещая причины появления сероводорода в водах Левшино, все же можно думать, что источником его являются доломиты, из которых он поступает через десорбцию при смачивании породы водой. Концентрация сероводорода в водах растет с увеличением минерализации, и это может служить косвенным указателем на существование такого процесса. Содержание сероводорода в известняках и доломитах согласно определениям К. А. Ненадкевича постоянно, около 0.01%<sup>(6)</sup>. По мнению акад. В. И. Вернадского сероводород, в таком состоянии обусловленный пределом адсорбции его породой, может сохраняться достаточно долго<sup>(7)</sup>. Отсутствие ископаемой фауны в изученной толще свидетельствует о том, что образование осадков происходило в условиях сероводородной среды, и можно думать, что сероводород частично сохранился в породах и до наших дней.

Из сказанного следует, что перемещающаяся по трещинам породы вода не только повышает минерализацию, но и изменяет на пути свой состав. Поэтому существование гипсовых вод в северной части района, сульфатно-натриевых—в средней и хлоридных рассолов—на юге следует понимать как исторический путь, по которому происходило образование и метаморфизация вод, а каждый тип—как ступень этого развития.

Гидроэнергопроект.  
Ленинград.

Поступило  
26 XII 1938.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Акад. В. И. Вернадский. История природных вод, 3 (1936). <sup>2</sup> F. Cameron и A. Seidell, Solubility of Gypsum of Certain Electrolytes, Bull. 18, U. S. Dept. Agric. div. Soil (1901). <sup>3</sup> Н. А. Орлов, ЖРФХО, XXXIV (1902). <sup>4</sup> Г. Роджерс, Химические соотношения вод нефтяных месторождений (1924). <sup>5</sup> В. А. Сулин, Воды нефтяных месторождений СССР (1935). <sup>6</sup> К. А. Ненадкевич, О содержании сероводорода в известняках и доломитах, Изв. Ак. Наук (1917). <sup>7</sup> В. И. Вернадский, О сероводороде в известняках и доломитах, Изв. Акад. Наук (1917).