

РАЗВИТИЕ ИДЕЙ В.И. ВЕРНАДСКОГО В СОВРЕМЕННОЙ ГИДРОГЕОХИМИИ

Д.А. Новиков

Институт геологии нефти и газа СО РАН, г. Новосибирск

Рецензент А.И. Ревякин

Ключевые слова и фразы: подземные воды; равновесие; система вода – порода – газ – органическое вещество; физико-химическое моделирование.

Аннотация: Рассмотрено развитие идей В.И. Вернадского в ряде главенствующих направлений современной гидрогеохимии: 1) взаимодействие в системе «вода – порода – газ – органическое вещество»; 2) геохимия природных вод; 3) физико-химическое моделирование гидрогеохимических процессов.

Весной 1929 г. В.И. Вернадский выступил в Российском минералогическом обществе с докладом на тему «О классификации и химическом составе природных вод», в котором фактически сформулировал содержание современной гидрогеохимии [1]. Поэтому по предложению А.И. Перельмана в 1979 г. отмечалось 50-летие этой молодой науки. Соответственно 75-летний юбилей был отмечен в г. Томске в 2004 г. [2]. Хотя корни гидрогеохимии уходят в глубокую древность, и ее многие основополагающие законы и положения создавали Аристотель, Плиний Старший, А. Аль-Бируни, Г. Агрикола, Р. Бойль, Э. Галлей, М.В. Ломоносов, А. Лавуазье, Ж. Ламарк, В.М. Севергин, Ж. Эли де Бомон, Э. Зюсс, Д.И. Менделеев, Ф. Кларк, Я. Вант-Гофф, С. Аррениус, Ф.П. Саваренский, А.Ф. Лебедев, А.Е. Ферсман и многие другие, но самый важный вклад в становление современной гидрогеохимии внес все же В.И. Вернадский, работа которого «История природных вод (1933 – 1936 гг.) и сегодня остается непревзойденной. В ней не только обобщен огромный материал, заложивший основы современной гидрогеохимии, но и вскрыто совершенно особое положение воды в геологической истории Земли, происхождении и становлении жизни. В данной работе рассмотрено развитие идей В.И. Вернадского в ряде главенствующих направлений современной гидрогеохимии: 1) взаимодействие в системе «вода – порода – газ – органическое вещество»; 2) геохимия природных вод; 3) физико-химическое моделирование гидрогеохимических процессов.

Д.А. Новиков – вице-президент Межгосударственной Ассоциации стипендиатов Фонда им. В.И. Вернадского.

Система В.И. Вернадского вода – порода – газ – органическое вещество

Как известно, В.И. Вернадский очень большое внимание придавал равновесиям между основными компонентами окружающего мира: вода, порода, разнообразные газы, органическое вещество (живое и мертвое), различные минералы, углеводородное вещество и т.д. Его знаменитое равновесие в системе стало общепризнанным, вошло во все учебники по геохимии и гидрогеологии и является базовым для современных наук о земле в целом. Примером может служить учебник В.С. Самариной [3]. В.И. Вернадский рассматривал это равновесие главным образом с динамических позиций, но немалое значение он придавал и физико-химическим равновесиям в рассматриваемой системе. Поэтому он писал об одновременном динамическом и физико-химическом равновесии, которое «существует все время, меняясь в своей величине, пока существует раствор» [1, с.155]. В связи с этим он различал два состояния растворов: 1) растворы, которые находятся в длительном устойчивом равновесии; 2) растворы, которые «находятся в стадии замирания, увеличения концентрации, усиления выделения твердых компонентов» [1, с.156]. Первое состояние в ходе геологического времени переходит во второе, которое исторически или геологически ведет к замиранию, т.е. потере растворов и формированию твердых соединений.



Результаты исследований последних лет показали, что характер физико-химического равновесия подземных вод с горными породами оказался значительно более сложным, чем это представлялось во время работы В.И. Вернадского.

Фундаментальные работы Д.С. Коржинского [4], который ввел важное понятие о локальном равновесии, получившем широкое признание в мире, Р.М. Гаррелса [5], Г.К. Хелгесона [6], И.К. Карпова с соавторами [7] и многих других, результаты огромного числа разнообразных экспериментов по взаимодействию воды с горными породами [8 – 10], а также многочисленные материалы международных симпозиумов по этой теме, позволили выявить многие ранее неизвестные механизмы взаимодействия воды с горными породами. Эта система оказалась в центре внимания многих наук о земле, но особенно гидрогеохимии.

Как выяснилось в последнее время, система вода – порода является внутренне противоречивой, способной к произвольному, непрерывному, геологически длительному развитию с формированием разнообразных вторичных твердых и жидких минералов. В этом суть одного из главных геологических явлений нашей планеты, определивших ход многих грандиозных процессов литогенеза, рудообразования, формирования состава гидросферы, возникновения жизни и др. [11].

По мере увеличения степени взаимодействия воды с горными породами раствор последовательно насыщается новыми и новыми минеральными соединениями, которые строго закономерно сменяются одно другим. Тем самым обеспечивается физико-химическая эволюция данной системы, которая включает также строго закономерное изменение характера геохимической среды и состава водного раствора.

Простая система, состоящая из одного исходного минерала и воды, в процессе физико-химической эволюции приводит к формированию множества новых систем, представляющих вторичный минерал и водный раствор определенного состава. Например, анортит при растворении может на разных этапах взаимодействия сформировать гиббсит, бемит, каолинит, монтмориллонит, кальцит, разнообразные цеолиты, хлорит, эпидот, альбит, флюорит и т.д. Хотя для этого требуется геологически длительное развитие исходной системы, накопление в растворе необходимого количества и определенного соотношения химических элементов, сам факт «размножения» и формирования новых систем в неорганической материи уникален и говорит о принципиальной возможности целенаправленной эволюции в неживой природе.

Вода постоянно и непрерывно на всех этапах взаимодействия с породами концентрирует одни элементы и рассеивает другие. Соотношение рассеиваемых и концентрируемых элементов меняется по мере физико-химической эволюции рассматриваемой системы. Полный цикл ее эволюции включает рассеивание и концентрирование на каком-либо из этапов всех, без исключения, элементов, что приводит к формированию большой группы разнообразных месторождений полезных ископаемых.

Таким образом, система вода – порода обладает рядом совершенно уникальных свойств и способностей, многие из которых позже были заимствованы живой природой. Этот аспект проблемы приобретает особое значение, так как помогает раскрыть многие новые стороны взаимоотношения живой и неживой природы, взаимодействия биосферы с литосферой и гидросферой, выявить суть поступательно-направленной эволюции вещества в неживой природе и его связь с эволюцией живого вещества, т.е. решить многие из тех проблем, которые блестяще поставлены В.И. Вернадским.

Одна из таких фундаментальных проблем заключается в выявлении соотношения между составом воды и горных пород, имеющая наиболее долгую историю. Поставленная еще Аристотелем и Плинием Старшим, которые считали, что «каковы породы таковы и воды» [12], эта проблема в течение более двух тысяч лет казалась решенной. И только в прошлом веке В.И. Вернадский показал, что состав воды есть функция длительной эволюции системы вода – порода – газ – органическое вещество. При этом В.И. Вернадский придавал решающее значение в формировании состава воды не горным породам, а газам и органическому веществу, акцентировал внимание на той геохимической обстановке, которую формируют эти компоненты. Тем самым он обосновал ведущую роль среды и не рассматривал подробно соотношение между составом воды и породы. В последующем значительный вклад в разработку отдельных сторон этой проблемы внесли Ф.П. Саваренский, Г.Н. Каменский, Н.Н. Славянов, А.М. Ов-

чинников, А.И. Перельман, Н.И. Толстихин, И.К. Зайцев, М.Г. Валяшко, А.А. Карцев, Е.В. Пиннекер, Е.В. Посохов, А.В. Щербаков, Е.А. Басков, С.Р. Крайнов, А.Б. Ходьков, Г.Ю. Валуконис и др.

Обобщая накопленные многочисленные данные и анализируя соотношение состава воды и горных пород, А.М. Овчинников [13, с. 3] не обнаружил простых зависимостей между этими главными составляющими земной коры и предложил новую формулировку древнего постулата в следующем виде: «вода такова, какова геологическая история района, в котором она, находится». Замена одной формулировки постулата на другую, хотя и более прогрессивную, не вскрывает, однако, соотношения между составом воды и горными породами, между структурными (геологическими) и зональными (климатическими) факторами формирования подземных вод, не увязывает состав воды с характером геохимической среды.

В последнее время С.Л. Шварцевым [14] установлено, что чем более длительным и глубоким является взаимодействие воды с горными породами, определяемое интенсивностью водообмена, тем значительнее различие между ее составом и исходной породой. Это, а также выявление характера и глубоких причинных связей взаимодействия воды с породой позволило ему сформулировать древний постулат Аристотеля в новой редакции, а именно: *вода такова, какова степень ее взаимодействия с горными породами, определяемая историей геологической эволюции этой системы*. Эта новая формулировка не отвергает старый постулат, а ограничивает рамки его применения начальными стадиями эволюции системы вода – порода.

Выявление соотношения состава воды и горных пород позволило подойти и к более глубокому пониманию путей решения еще одной достаточно старой в геологии проблемы, а именно: выявлению источников и механизмов мобилизации химических элементов в рудогенерирующих процессах. В этом направлении наиболее выдающиеся результаты достигнуты в области формирования урановых месторождений [15, 16]. В бывшем СССР разработана уникальная теория образования гидрогенных месторождений урана, которая базируется на учении о геохимических барьерах, учении о геохимии ландшафта, взаимосвязи зональных изменений состава подземных вод и водовмещающих пород, представлениях о зонах пластового окисления, учения о природе гидрогеохимической среды и физико-химических равновесий в системе вода – порода [11, 17 – 19].

Разработка теоретических основ пластово-инфильтрационного образования месторождений урана привела к выявлению механизмов концентрирования на восстановительных геохимических барьерах и многих других, так называемых, полиэлементных экзогенных эпигенетических месторождений Se, V, Mo, Re, Sc и др. [20], а также формированию месторождений в корах выветривания.

Крайне важно, что в результате всех этих работ вскрыт не только механизм концентрирования химических элементов на геохимических барьерах, но и источники химических элементов, участвующих в рудообразовании: такими источниками выступают алюмосиликатные горные породы. В самое последнее время удалось показать, что концентрирование химических элементов происходит не только на участках резкого изменения

геохимической среды, т.е. на геохимических барьерах, но везде, где водный раствор достигает физико-химического равновесия с рудными минералами. Тем самым выявлены механизмы рудогенерирующих процессов более широкого масштаба в эволюционном развитии системы вода – порода в целом [21, 22].

Рассматривая механизмы взаимодействия воды с алюмосиликатами, нельзя не обратить внимания на то, что в этих реакциях молекулы воды химически разлагаются и синтезируются, т.е. происходят процессы, которым большое внимание уделял В.И. Вернадский. В этой связи он писал: «Оба процесса – синтез и распад происходят непрерывно и закономерно, и так как они идут в разных геосферах и очень многообразными способами, то надо думать, что эти реакции должны играть в земной коре очень заметную роль» [1, с.181]. Эти идеи В.И. Вернадского получили дальнейшее развитие. Установлено, что эти процессы носят строго направленный характер и связаны с непрерывным взаимодействием воды с горными породами. Сформулировано новое понятие о геохимическом цикле воды в земной коре, под которым понимается совокупность явлений и процессов, приводящих к прямому участию, разложению и синтезу молекул воды в геохимических преобразованиях горных пород, органических веществ и газов в поступательно-направленном развитии осадочно-метаморфических процессов [11].

В самое последнее время идею о разложении огромных количеств воды подтвердили С.Р. Крайнов и Б.Н. Рыженко методами термодинамического моделирования геохимических процессов в системе вода – гранит, которые пишут, что «рост минерализации водной фазы в глубоких зонах массивов кристаллических пород объясняется уменьшением количества молекул H_2O в водной фазе и соответственным концентрированием этой водной фазы» [23, с.1053].

Геохимия природных вод

Одна из центральных проблем гидрогеохимии – формирование химического состава подземных вод. В решение этой проблемы большой вклад внесли Н.И. Толстихин, И.К. Зайцев, Г.Н. Каменский, А.А. Карцев, А.М. Овчинников, А.И. Перельман, В.А. Кирюхин, Д.Е. Уайт, Дж.Д. Хем, В.С. Самарина, Е.В. Посохов, К.Е. Питьева, С.Р. Крайнов, Е.В. Пиннекер, П.А. Удодов, В.М. Швец, Х. Шеллер, Е.А. Басков, Б.Н. Рыженко, С.Л. Шварцев и многие другие. Установлено, что с глубиной, как правило, соленость подземных вод в осадочных бассейнах растет и достигает в галогенно-сульфатных отложениях 600...650 г/кг. Самые соленые воды нашей планеты, которые по генезису являются седиментационными, и претерпели глубокую степень метаморфизации, формируются в бассейнах с галогенными фациями. В осадочных бассейнах с нормальной соленостью формируются преимущественно соленые воды и реже рассолы с общей минерализацией до 100 г/л. В условиях древних щитов развиты соленые воды и рассолы до 350 г/л. В молодых горно-складчатых (альпийских) системах и районах современного вулканизма максимальная соленость термальных вод редко превышает 10 г/л. Исключение составляют случаи

захвата последними морских вод. В срединно-океанических хребтах развиты воды с соленостью, близкой к океанической воде. Достаточно часто встречаются также случаи инверсионной зональности, природа которой активно обсуждается, но единого мнения не выработано [11, 12, 24 – 28]. Важно, что в науку все больше проникает идея глубокой связи между гидрогеохимической, гидрогеодинамической и литолого-геохимической зональностью [29].

Определенные успехи достигнуты в выявлении причин формирования наиболее крепких рассолов Земли, развитых в осадочных бассейнах. В последние годы получены новые данные по геохимии, состоянию термодинамического равновесия и изотопному составу этих загадочных образований. Установлено, что они представляют собой остатки маточных рассолов древних солеродных бассейнов, измененных коренным образом в процессе взаимодействия с вмещающими сульфатными, карбонатными и алюмосиликатными горными породами, вследствие их равновесно-неравновесного состояния с горными породами в течение длительного геологического времени (сотни миллионов лет) [30]. Развиваются и другие подходы [31].

В то же время высококонцентрированные рассолы, развитые в кристаллических массивах, в частности на Канадском щите, Cl–Ca–Na-типа с общей минерализацией обычно более 250 г/л, вызывают дискуссию до сих пор. Наиболее распространенные гипотезы происхождения рассолов: 1) инфильтрация с последующей метаморфизацией морских вод; 2) перетекание рассолов из смежных седиментационных бассейнов; 3) гидролиз алюмосиликатных минералов; 4) радиолиз подземных вод; 5) разложение воды в процессе ее взаимодействия с горными породами и др. [23, 31, 32].

Как уже отмечалось выше, В.И. Вернадский придавал огромное значение растворенному органическому и живому веществу, а также газам в водах. В известном его равновесии эти компоненты определяют как минимум минералогический тип воды. Это направление исследований в современной гидрогеохимии развивается активно, возникла новая наука – органическая гидрогеохимия. В ее создании и развитии после В.И. Вернадского большую роль сыграли М.Е. Альтовский, В.А. Сулин, Е.А. Барс, А.А. Карцев, В.М. Швеиц и многие другие [11, 33].



Также активно развивается геохимия газов, включая водорастворенные. После работ В.И. Вернадского выявлены новые типы газов: чисто водородные и сероводородные, установлен состав газов основных оболочек земли, включая верхнюю мантию, разработана детальная генетическая их классификация, установлено зональное распределение с глубиной, оценены запасы водорастворенных газов и т.д. [34, 35].

Еще одна важная проблема касается химической эволюции гидросферы в целом и, в частности, ее подземной составляющей. Как известно, В.И. Вернадский придерживался мнения о неизменности состава океана в

геологической истории, хотя большинство исследователей развивают противоположные взгляды. Среди гидрогеохимиков этот вопрос наиболее полно рассмотрел Е.В. Посохов [36], который считает, что эти изменения носили направленный и необратимый характер.

Физико-химическое моделирование гидрогеохимических процессов

Успехи современной гидрогеохимии велики по многим научным направлениям. Одно из них, непосредственно не связанное с именем В.И. Вернадского, обусловлено развитием физико-химического моделирования в мире, которое позволяет решать многие гидрогеохимические проблемы на принципиально ином научном уровне.

Физико-химическое моделирование гидрогеохимических процессов в системе вода – порода – газ стало широко применяться в геохимических исследованиях после появления работ Р.М. Гаррелса [5] о минеральных равновесиях и равновесиях между водой и минералами [37]. Первая компьютерная программа по расчету равновесного состояния системы вода – порода была создана Г. Хельгесоном [6]. Ее использование в СССР долгое время не было возможно из-за отсутствия соответствующей вычислительной техники. Позже в России были созданы более универсальные и быстродействующие программы «СЕЛЕКТОР» И.К. Карповым с соавторами [7], «GIBBS» Ю.В. Шваровым [38], «Hydrogeo» М.Б. Букаты [39], «GEOCHEM» М.В. Мироненко с соавторами [40] и другие. В настоящее время в России и за рубежом известно несколько десятков программных комплексов для IBM совместимых персональных компьютеров, сопряженных с электронными базами термодинамических свойств веществ или констант равновесий реакций.

Расчет равновесного состояния системы при данных температуре и давлении выполняется методом минимизации энергии Гиббса системы или путем решения системы уравнений констант равновесия химических реакций с учетом баланса масс и потенциалов вполне подвижных компонентов. Все полученные в результате расчета характеристики систем вода – порода – газы (рН, Eh, концентрации и формы существования компонентов в водном растворе, равновесные минеральные ассоциации) являются результатом химических взаимодействий между водой, газами и породой.

В настоящее время уже проведены тысячи экспериментов по моделированию разнообразных гидрогеохимических процессов. Приведем только один пример. Б.Н. Рыженко и С.Р. Крайновым [31] выполнено моделирование для системы вода – осадочные и кристаллические породы с использованием обобщенных данных по их химическому и минеральному составу при условиях термодинамической закрытости или открытости по O₂ и/или CO₂. Выяснено, что следующие физико-химические факторы: 1) отношение прореагировавших масс порода/вода (R/W); 2) состав породы, степень извлечения Cl из породы, содержание органического вещества; 3) закрытость – открытость системы от атмосферного O₂ и CO₂ и парциальное давление CO₂; 4) температура (давление) существования системы определяет изменение состава водной фазы и равновесной минеральной ассоциации системы вода – порода – газ.

По мере увеличения отношения порода – вода при всех типах пород увеличивается минерализация воды, изменяется химический тип водного раствора и состав равновесной (вторичной) минеральной ассоциации. Не существует пропорциональности между составом породы по основным породообразующим окислам и соотношением компонентов водного раствора, равновесного с породой. Содержание и скорость извлечения Cl из породы оказывают прямое (пропорциональное) влияние на состав водной фазы. Органическое вещество, извлекаемое в водную фазу, способствует инверсии состава водного раствора из хлоридного в карбонатный. Изоляция рассматриваемой системы от источника CO_2 приводит к формированию хлоридных вод. Увеличение парциального давления CO_2 расширяет область существования вод $HCO_3-Na-Ca$ типа и приводит к формированию их углекислых разностей. Повышение температуры (давления) положительно влияет на хлоридность водного раствора и отрицательно на карбонатность и сульфатность.

Приведенный пример показывает, что применение методов физико-химического моделирования позволяет количественно оценивать многие параметры, определяющие формирование основных геохимических типов подземных вод, а также прогнозировать возможное изменение их состава под действием природных или техногенных факторов.

В заключении следует отметить, что освещенные в данной работе направления современной гидрогеохимии являются небольшой толикой из научного наследия В.И. Вернадского и, что он является не только основоположником гидрогеохимии, но и создателем учения о геологии воды и ее геологической деятельности, основой которого служит эволюционное развитие системы вода – порода – газ – органическое вещество и особая роль воды как важнейшего компонента (стихии) окружающего мира. Важнейшими звеньями этого учения выступают «всюдность» воды, геологически вечная ее подвижность, водное равновесие земной коры, круговороты воды, интенсивность водообмена, миграция химических элементов и др.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда имени В.И. Вернадского, Минпромнауки РФ (проект НШ-1566.2003.05), гранта Президента РФ (№ МК-1129.2005.5) и РФФИ (проект № 03-05-65417, № 04-05-65310).

Список литературы

- 1 Вернадский, В.И. История природных вод / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 2003. – 751 с.
- 2 Букаты, М.Б. Фундаментальные проблемы современной гидрогеохимии / М.Б. Букаты, Д.А. Новиков, Б.Н. Рыженко, С.Л. Шварцев // Геохимия, №8, 2005. – С. 909–912.
- 3 Самарина, В.С. Гидрогеохимия / В.С. Самарина. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1977. – 360 с.
- 4 Коржинский, Д.С. Теория метасоматической зональности / Д.С. Коржинский. – М.: Наука, 1982. – 104 с.
- 5 Garrels R.M. Mineral equilibria at low temperature and pressure. – N.-Y.: Harper, 1960. – 306 p.

6 Helgeson H.C. Evolution of irreversible reactions in geochemical processes involving minerals and aqueous. // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1968, v.32, No. 8. – Pp. 853–877.

7 Карпов, И.К. Химическая термодинамика в геохимии и петрологии / И.К. Карпов, А.И. Киселев, Ф.А. Летников. – Иркутск: Изд-во СО РАН СССР, 1971. – 385 с.

8 Colman S.M., Dethier D.P. (Edit) Rates of chemical weathering of rocks and minerals. – Orlando: Academic Press, 1986. – 603 p.

9 White D.E., Hem I.D., Waring G.A. Chemical composition of subsurface waters // *U.S. Geol. Surv. Prof. Papers*, 1963, No. 440-F. – 67 p.

10 Алексеев, В.А. Кинетика и механизмы реакций полевых шпатов с водными растворами / В.А. Алексеев. – М.: ГЕОС, 2002. – 256 с.

11 Шварцев, С.Л. Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия / С.Л. Шварцев, Е.В. Пиннекер, А.И. Перельман и др. – Новосибирск: Наука, 1982. – 287 с.

12 Пиннекер, Е.В. Основы гидрогеологии. Общая гидрогеология / Е.В. Пиннекер, Б.И. Писарский, С.Л. Шварцев и др. – Новосибирск: Наука, 1980. – 231 с.

13 Овчинников, А.М. Гидрогеохимия / А.М. Овчинников. – М.: Недра, 1970. – 200 с.

14 Шварцев, С.Л. Взаимодействие воды с алюмосиликатными горными породами : обзор / С.Л. Шварцев // *Геология и геофизика*, 1991. – С.16-50.

15 Лисицын, А.К. Гидрогеохимия рудообразования / А.К. Лисицын. – М.: Недра, 1975. – 248 с.

16 Перельман, А.И. Гидрогенные месторождения урана / под ред. А.И. Перельмана. – М.: Атомиздат, 1980. – 270 с.

17 Перельман, А.И. Геохимия природных вод / А.И. Перельман. – М.: Наука, 1982. – 152 с.

18 Перельман, А.И. Геохимия : изд. 2-е дополн. / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1989. – 598 с.

19 Перельман, А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. – М.: Астрей-2000, 1999. – 764 с.

20 Лаверов, Н.П. Урансодержащие полиэлементные экзогенные эпигенетические месторождения: условия образования и источники металлов, извлекаемых методами подземного выщелачивания / Н.П. Лаверов, А.К. Лисицын, И.Н. Солодов // *Геология рудных месторождений*, 2000, №1. – С. 5 – 24.

21 Шварцев, С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза : изд. 2-е, испр. и дополн. / С.Л. Шварцев. – М.: Недра, 1998. – 367 с.

22 Шварцев, С.Л. Рудогенерирующие процессы в эволюционном развитии системы вода–порода / С.Л. Шварцев // *Геология рудных месторождений*, 1994, №3. – С. 261–270.

23 Крайнов, С.Р. Анализ проблемы происхождения хлоридных подземных вод и рассолов в массивах кристаллических пород методами термодинамического моделирования геохимических процессов в системах гранит – вода / С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко // *Геохимия*, 1997, №10. – С.1035-1057.

24 Кирюхин, В.А. Гидрогеохимия / В.А. Кирюхин, А.И. Коротков, С.Л. Шварцев. – М.: Недра, 1993. – 384 с.

25 Крайнов, С.Р. Термодинамический анализ формирования инверсионной геохимической зональности подземных вод в глубоких горизонтах нефтегазоносных структур. Причины образования высококарбонатных инверсионных вод / С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, Ю.С. Павлов // Водные ресурсы, 2002, №2. – С. 173–197.

26 Шварцев, С.Л. Природа вертикальной гидрогеохимической зональности нефтегазоносных отложений (на примере Надым-Тазовского междуречья, Западная Сибирь) / С.Л. Шварцев, Д.А. Новиков // Геология и геофизика, т. 45, № 8, 2004. – С. 1008–1020.

27 Новиков, Д.А. Оценка перспектив нефтегазоносности мезозойско-кайнозойских отложений Алтайского края по гидрогеологическим данным / Д.А. Новиков, А.В. Филонов, С.Л. Шварцев // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, № 2, 2005. – С. 42–51.

28 Новиков, Д.А. Гидрогеологические условия нефтегазоносных отложений на структурах южной части Ямало-Карской депрессии / Д.А. Новиков, А.В. Лепокуров // Геология нефти и газа, № 5, 2005. – С.21–30.

29 Махнач, А.А. Катагенез и подземные воды / А.А. Махнач. – Минск: Наука и техника, 1989. – 335 с.

30 Шварцев, С.Л. Химический состав и изотопы стронция рассолов Тунгусского бассейна в связи с проблемой их формирования / С.Л. Шварцев // Геохимия, 2000, №11. – С. 1170–1184.

31 Рыженко, Б.Н. Модель «порода–вода» как основа прогноза химического состава природных вод земной коры / Б.Н. Рыженко, С.Р. Крайнов // Геохимия, 2003, №9. – С. 1002–1024.

32 Bottomley D.J., Gregoire D.C., Raven K.G. Saline groundwaters and brines in the Canadian Shield: Geochemical and isotopic evidence for a residual evaporite brine component // Geochim. et Cosmochim. Acta, 1994, No. 5. – Pp.1483–1498.

33 Швец, В.М. Органические вещества подземных вод / В.М. Швец. – М.: Недра, 1973. – 192 с.

34 Соколов, В.А. Геохимия природных газов / В.А. Соколов. – М.: Недра, 1971. – 336 с.

35 Зорькин, Л.М. Нефтегазопроисковая гидрогеология / Л.М. Зорькин, М.И. Суббота, Е.В. Стадник. – М.: Недра, 1982. – 216 с.

36 Посохов, Е.В. Химическая эволюция гидросферы / Е.В. Посохов. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 287 с.

37 Garrels R.M. and Christ C.L. Solutions, minerals and equilibria. Evanston: Harpenter and Row, 1965. – 450 p.

38 Шваров, Ю.В. Алгоритмизация численного равновесного моделирования динамических геохимических процессов / Ю.В. Шваров // Геохимия, 1999, №6. – С. 646–652.

39 Букаты, М.Б. Разработка программного обеспечения в области нефтегазовой гидрогеологии / М.Б. Букаты // Разведка и охрана недр, 1997, №2. – С. 37–39.

40 Mironenko M.V., Akinfiev N.N., Melikhva T.Yu. GEOCHEM - the complex for thermodynamic modelling of geochemical systems // Herald DGGMS RAS, 2000, v.2, №5(15). – Pp. 96–97. URL: <http://www.sqis.ru/russian/cp1251/hdggms/5-2000/term.10.eng>.

Development of V.I. Vernadsky's Ideas in Present-day Hydrogeochemistry

D.A. Novikov

Institute of Oil and Gas Geology, SO RAN, Novosibirsk

Key word and phrases: underground water; balance; the system “water – soil –gas –organic substance”; physico-chemical modeling.

Abstract: The development of V.I. Vernadsky's ideas in a number of basic trends of modern hydrogeochemistry is studied. These are: 1) interaction in the system “water – soil –gas –organic substance”, 2) geochemistry of natural water, 3) physico-chemical modeling of hydrogeochemical processes.

© Д.А. Новиков, 2005