

## ИСТОРИЧЕСКАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЯ

© 2017 г. Л.А. Анисимов

ЛУКОЙЛ-Инжиниринг

Геологию щупать скучно – сплошные кремни,  
Но Историю я имел – это уж мне знакомо.

*И. Бродский*

Можно поспорить с нашим поэтом о скучной науке, но он прав, когда мы рассматриваем объект в динамике, привлекая время. Тогда все становится намного интереснее. Тут уместно вспомнить слова великого Бальзака о Геологии, писатель очень глубоко прочувствовал величие геологического времени: «Пускались ли вы когда-нибудь в бесконечность пространства и времени, читая геологические сочинения Кювье? Уносимые его гением, парили ли вы над бездонной пропастью минувшего, точно поддерживаемые рукой волшебника? Когда в различных разрезах и различных слоях, в монмартрских каменоломнях и в уральском сланце обнаруживаются ископаемые, чьи останки относятся ко временам допотопным, душа испытывает страх, ибо перед ней приоткрываются миллиарды лет, миллионы народов, не только исчезнувших из слабой памяти человечества, но забытых даже нерушимым божественным преданием, и лишь прах минувшего, скопившийся на поверхности земного шара, образует почву в два фута глубиной, дающую нам цветы и хлеб».

Историческая геология давно существует как отдельная наука, однако такая составляющая Земли, как вода, обычно не участвует в составлении летописи теку-

щих событий. Хотя история гидросферы неотделима от истории Земли, «вода стоит особняком в истории нашей Планеты» [4]. Причина прежде всего в том, что вода могла насытить породу в любой период времени, могла легко изменить свой состав, смешаться с водой другого происхождения. Нужны кропотливые специальные исследования, чтобы доказать схожесть подземной воды в пласте с водой бассейна седиментации. Тогда можно говорить об истории.

По поводу основных пунктов истории гидросферы существуют различные, прямо противоположные суждения. Не говоря уже о происхождении подземных вод отдельных бассейнов, расхождения во мнениях касаются положения континентов и океанов, объема Мирового Океана и содержания в нем солей в различные периоды геологического времени.

### *Происхождение воды*

С первого взгляда ответ достаточно простой. После завершения образования планеты, разогревания ее недр, формирования ядра началась дегазация мантии и образование гидросферы и атмосферы. Основная часть водяного пара вулканических газов должна была конденсироваться, превращаясь в воду и образуя гидросферу. В большинстве работ предполагается ранняя дега-

зация Земли, начавшаяся сразу же после ее возникновения, но в разных моделях протекавшая с разной скоростью. Однако в моделях такого рода скорость дегазации мантии принималась произвольной или обосновывалась общими соображениями, но только при условии равенства массы дегазированной воды ее реальной массе в гидросфере.

Поэтому существуют различные модели накопления воды с поступлением ее основной массы в первый миллиард после образования Земли, на границе палеозоя и мезозоя и, наконец, на границе мезозоя и кайнозоя. Согласно «галактической» гипотезе, масса воды в Мировом океане и колебания его уровня являлись следствием падений на Землю комет и астероидов, происходивших на фоне остывания нашей планеты после мощных галактических воздействий [2].

Другое объяснение предполагает образование воды в мантии и в земной коре в результате эмиссии водорода из ядра. Согласно автору этой модели В. Н. Ларину, выделение водорода из гидридных недр планеты не является абсолютно равномерным и геометрически симметричным процессом. Поднимающийся вверх водород и легкие продукты его взаимодействия с мантийным веществом сбиваются в некие русла, что и наблюдается в виде горячих восходящих потоков в мантии. Водород, благодаря своей высокой химической активности, неизбежно будет взаимодействовать с породами мантии, образуя прежде всего воду и метан. Это соответствует данным о значительном росте объема гидросферы в фанерозое, а также данным о присутствии значительных количеств водорода во многих гидротермальных источниках.

Интересен вопрос об избирательности воздействия водорода на породы при его миграции к поверхности. Наличие самородных минералов – графита, серы, железа и др., говорит о возможности восстановления различных окислов в земной коре водо-

родом с образованием воды. Значительно реже встречаются в самородном состоянии наиболее распространенные в земной коре алюминий и кремний, которые прочно связываются с кислородом. Пока самородный кремний как минерал был найден в продуктах вулканических извержений и как мельчайшие включения в самородном золоте.

Другой источник водорода находится в космосе. Солнечный ветер – поток ионов водорода, который захватывается Землей в значительно большем объеме, чем другими планетами, не имеющими магнитного поля. Здесь он взаимодействует с кислородом атмосферы, образуя воду. Если кислород – продукт биосферы, то можно говорить об участии биосферы в накоплении воды на поверхности Земли. С этой точки зрения интересна недавно выдвинутая гипотеза Нурбека Маженова из Казахстана, согласно которой образование основной массы воды связано с процессами фотосинтеза.

Приведенные выше процессы нельзя отрицать. Можно лишь говорить о соотношении объемов воды, образованной тем или другим путем. Главный вывод – вода имеет полигенное происхождение.

#### *Эволюция Мирового океана*

Водные осадки встречаются в самых древних образованиях Земли с возрастом до 3,8 млрд лет – в большей части серых гнейсов, кварцитах, железных рудах и т.д. Гидросфера, следовательно, существовала уже в раннем архее или раньше в результате дегазации первичного вещества Земли, в ходе которой была выделена вода.

Ключевым фактором на первых этапах эволюции гидросферы многие ведущие геохимики считают дегазацию вещества мантии. В связи с этим процессом предполагается рост объема гидросферы (рис. 1).

Ранее П. П. Тимофеев и В. Н. Холодов [20] показали, что в палеозойских разрезах отсутствуют ассоциации пород, аналогичные тем осадкам, которые ныне характер-

ны для абиссальных областей современных океанов. Можно согласиться с упомянутыми авторами в том, что палеозойские океаны, а тем более океаны докембрия, были, вероятно, мало похожи на современные. Исследователи подчеркивают, что со времен протерозоя и до четвертичного периода развитие преобладающих конечных водоемов стока происходило по линии: мелководные морские озероподобные водоемы – эпиконтинентальные моря – эпиконтинентальные краевые моря и океаны. Аналогичные закономерности подметили Эмери и Мейер [29], показавшие распространение различных типов седиментационных бассейнов за геологическую историю.

Помимо неравномерности дегазации мантии, объем и уровень океана может изменяться по следующим причинам.

1) Перераспределение массы гидросферы в результате материковых оледенений.

В настоящее время объем материковых льдов не превышает 3–4% от объема жидкой воды. В прошлые периоды были

другие соотношения твердой и жидкой фаз. Еще в докембрий отмечались следы существования ледников. Особое значение для накопления воды в твердой фазе имело ордовикское оледенение в период 440–420 миллионов лет назад. В это время районы Гондваны, находившиеся в южной полярной зоне, были покрыты мощными ледниковыми отложениями, следы которых отмечаются почти на всей территории Северной Африки, на Аравийском полуострове, в Южной Америке и Австралии [30, 36]. Учитывая такую площадь оледенения и меньший объем океана, по сравнению с современным, можно говорить о сопоставимых объемах жидкой воды и льда в течение этого периода.

Образование и таяние гигантских ледниковых покровов приводило к тому, что уровень океана менялся на сотни метров, обуславливая периоды трансгрессий и регрессий в пределах континентов.

2) Изменение уровня в результате изменения емкости океанических впадин.

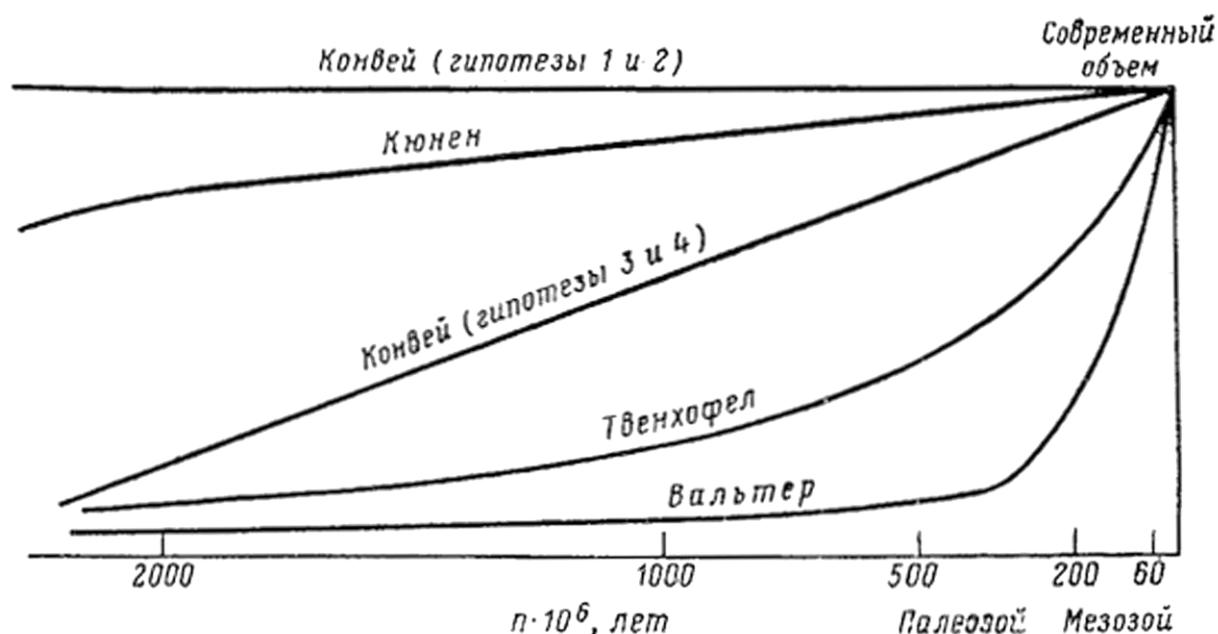


Рис. 1. Существующие представления о темпах увеличения объема гидросферы. Вариации количества океанической воды в течение геологического времени согласно воззрениям Вальтера, Твенхофела, Кюнел и Конвея [12]

Этот процесс обусловлен геотектоническим развитием Земли, в зависимости от которого увеличивалась емкость впадин с заполнением их не только водой, но и сносимым с континентов материалом. Тут мы вступаем в область конкурирующих концепций, объясняющих образование океанов и их эволюцию.

Согласно теории литосферных плит, перемещающихся по поверхности мантии, океаны образовались в результате раскола древнего суперконтинента и расхождения образовавшихся плит (спрединга). Океаническая кора древних океанов погружалась под надвигающиеся континенты (процесс субдукции). В настоящее время остались только «молодые» океаны, самые древние породы, слагающие их ложе, юрского возраста.

Наиболее яркий пример, поддерживающий эту версию, – Атлантический океан. Вдоль осевой его части проходит Срединно-Атлантический хребет, центральная зона спрединга. По мере удаления от хребта осадки становятся древнее. Наконец, самое главное, «пассивные континентальные окраины» удивительным образом сходятся, если их соединить.

Фиксизм поддерживает идею о вторичности гидросферы, которая рассматривается как процесс углубления океанов за счет материков. Океаны образовались сравнительно недавно вследствие опускания крупных участков суши. Процесс сопровождался излияниями базальтов, которые образовали молодую океаническую кору и выделили воду, заполнившую провалы. Началась «океанизация» Земли [13]. Для поддержки этой теории привлекается, прежде всего, Тихий океан. Согласно последней версии [21], на месте океанской изометрической впадины до ее опускания была «система континентов-кратонов и разделяющих их апоэвгеосинклинальных складчатых поясов; соответственно подстилать молодые

океанические базальты в разных частях океана могли породы любого более древнего возраста и типа. Об этом говорят находки глубоко метаморфизованных пород – гранулитов и фрагментов эклогитов и гнейсов, как и останцы континентальной коры почти во всех частях океана».

Согласно гипотезе расширяющейся Земли, ее размеры в начале мезозоя были почти в два раза меньше современного, примерно соответствуя размеру земного ядра. Континентальная кора из сдвинутых материков покрывала практически всю поверхность планеты. В дальнейшем объем Земли увеличился и постепенно достиг ее современного размера. Нарастивание поверхности Земного шара при его расширении происходило за счет раздвижения дна океанов. Возраст океанической коры не превышает 200 млн лет и закономерно и пропорционально увеличивается в обе стороны по мере удаления от срединно-океанических хребтов.

Хотя теория расширяющейся Земли снимает многие противоречивые вопросы фиксизма и мобилизма, сам драматический процесс увеличения объема планеты поражает воображение своими масштабами. Возникает много вопросов относительно плотности пород ядра и мантии в домезозойское время, изменения силы тяжести на поверхности Земли и т. д.

Можно ли снять эти сомнения, приняв концепцию о различных механизмах образования Атлантического и Индийского (с осевым хребтом и пассивными окраинами) и изометрического Тихого океана с его огненным кольцом? Если на месте современной изометрической Тихоокеанской впадины был материк, то площадь палеозойских континентов увеличивается более чем в два раза, а мезозой-кайнозойское нарастивание новой океанской коры происходит на месте погружающегося континента. Хаин В. Е. допускал изменения радиуса Земли в различные периоды ее истории в пре-

делах 3–4%. Если следствием расширения Земли было в основном образование новой коры на месте Атлантического и Индийского океанов, то изменение радиуса Земли за мезозой-кайнозойское время должно составить порядка 15–20%. В этом случае возможное изменение физических параметров Земли выглядит более правдоподобно.

*Пасифика – исчезнувший континент*

О древнем суперконтиненте на месте Тихого океана написано много, и легенды о его существовании выглядят не менее увлекательно, чем легенды об Атлантиде. Статуи с острова Пасхи, камни Ики и другие артефакты говорят о существовании древних цивилизаций на землях, которые погрузились в океан в новейшее по геологическим масштабам время. Французский ученый и писатель Луи Жаколио в своей книге «История Дев: Народы и Пропавшие Континенты» (Louis Jacolliot, «L'Histoire des Vierges: les Peuples et les Continents Disparus») говорит: «Одна из древнейших легенд Индии, сохраняемая в храмах в устном и

письменном предании, рассказывает, что несколько сот лет тому назад в Тихом Океане не существовал огромный материк, который был разрушен геологическими переворотами, и остатки которого следует искать в Мадагаскаре, Цейлоне, Суматре, Яве, Борнео и в главнейших островах Полинезии».

Страна Лемурия (рис. 2) занимает значительную, но все же не всю поверхность Тихого океана. Его эволюция, видимо, еще далеко не закончилась, но более интересные результаты можно было бы получить, если провести реконструкцию древнего континента с его горами и равнинами, который существовал в домезозойское время на месте Тихого океана.

В последней очень интересной книге о происхождении Тихого океана [21] авторы рассматривают его историю, опираясь на теорию *базификации* земной коры континентов, что приводит к их океанизации и тафрогенезу (по В.В. Белоусову). К доказательствам они относят округлую или субизометричную форму многих впадин



Рис. 2. Древний континент на месте Тихого океана

океана, исключаящую их совместное образование из одной спрединговой зоны и допускающую лишь местный малоамплитудный спрединг, эволюцию магматизма на протяжении многих десятков миллионов лет, требующую фиксированности его очагов не только в мантии, но и относительно слоев коры и др. Далее авторы пишут: «Непредвзятый геологический подход, пока опирающийся на скромные данные, приводит лишь к одному общему предположению о предшественнике современного океана и о его доокеаническом фундаменте: это была система континентов–кратонов и разделяющих их апоэвгеосинклинальных складчатых поясов; соответственно подстилать молодые океанические базальты в разных частях океана могли породы любого более древнего возраста и типа. Об этом говорят находки глубоко метаморфизованных пород – гранулитов и фрагментов эклогитов и гнейсов, как и останцы континентальной коры почти во всех частях океана».

Таким образом, сторонники океанизации земной коры сводят образование океана к поступлению огромных объемов базальтов и воды, к образованию площадей с океаническим типом земной коры и их опусканию-проседанию на многие километры, образованию современных океанических впадин.

*Химический состав вод древних бассейнов седиментации*

Процессы океанизации земной коры имеют прямое отношение к процессам формирования химического состава подземных вод. Эволюция химического состава поверхностных вод во многом определяет последующую историю подземных вод. Этот вопрос также является предметом принципиальных споров. Большое влияние на дискуссию оказали взгляды и авторитет В.И. Вернадского, который придерживался мнения о постоянстве состава вод Мирового океана. Он полагал, что с самых древ-

них этапов геологической истории (с архея) не только состав и формы нахождения элементов должны быть аналогичны современным, но и объем вод на земной поверхности. За прошедшие 100 лет многое изменилось, и новые открытия вносят в эти представления соответствующие коррективы.

Основной вопрос связан с определением соотношения выделяемой из мантии воды и летучих кислот ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$  и др.), которые при взаимодействии с породами нейтрализовались и образовывали соли различной растворимости. Ведущая роль здесь принадлежит хлору, обладающему наибольшей подвижностью и не участвующему в обменных процессах с породами. Поэтому можно полагать, что на первом этапе дегазации недр воды должны были иметь высокую минерализацию по хлору. В дальнейшем минерализация поверхностных вод могла также изменяться при образовании ледников или при выводе солей из воды в процессах галогенеза.

Условия формирования высококонцентрированных рассолов седиментационных бассейнов продолжают оставаться дискуссионной проблемой с весьма различными точками зрения на причины концентрирования солей. Известный американский гидрогеохимик Джеффри Ханор в ряде статей описал 50-летнюю историю формирования взглядов на процессы формирования химического состава подземных вод [31]. Спустя полвека после заявления В. Рассела о том, что «данный вопрос предполагает благоприятные возможности для дальнейших исследований», Д. Ханор в 1983 году говорит о двух интригующих проблемах, нерешенных до сих пор:

- 1) Почему воды имеют такую высокую соленость, особенно в бассейнах, где отсутствуют эвапориты.
- 2) Почему соотношение главных ионов не соответствует составу известных поверхностных морских вод и рассолов.

Через 24 года, в 2007 году не менее известный геохимик Генрих Холланд [33] снова пишет: «Несмотря на прогресс, наши знания о древних океанах являются мизерными по сравнению с нашими знаниями о современном океане. Даже уровень концентраций главных элементов в морских водах фанерозоя плохо оценивается, а эти концентрации в докембрийских морских водах пока лишь в области догадок».

Не менее спорные вопросы возникают при изучении бассейнов, содержащих маломинерализованные воды на больших глубинах. В этих условиях сравнительная гидрогеохимия – сравнение седиментационных вод различных бассейнов во времени и в пространстве – может стать эффективным инструментом для выявления условий их формирования. В методическом отношении основой сравнительной гидрогеохимии является выделение в разрезе бассейна седиментационных вод, то есть вод, в наименьшей степени подверженных процессам инфильтрации и влиянию галогенных пород. Анализ гидрохимической зональности в сочетании с палеогеографическими условиями, как правило, позволяет выделить такие зоны.

Процессы опреснения воды поверхностных водоемов обусловлены континентальным стоком и связанными с ним зонами опреснения эстуарий, придельтовых зон и заливов древних внутриконтинентальных морей. Примеры Северного Каспия и заливов Балтийского моря показывают возможные масштабы формирования зон опресненных вод внутри общего седиментационного бассейна. В условиях континентальных перерывов в приповерхностной зоне происходит опреснение подземных вод, связанное с инфильтрацией. Этот процесс рассматривается как ведущий при формировании верхней гидродинамической зоны – зоны активного водообмена. На больших глубинах зона опресненных вод (гидрохимиче-

ская инверсия) обусловлена выделением воды при снижении температуры из газовых смесей, жидких углеводородов, а также при десорбции воды из глинистых толщ.

Сравнение «седиментационных вод» одного возраста для разных бассейнов, расположенных в пределах различных континентов, показывает значительное влияние на их состав климатической зональности и глобального изменения климата в результате дрейфа континентов. Так, таяние полярных ледников в раннем палеозое на Африканской платформе определило генезис пресных «седиментационных вод» во флювио-гляциальных отложениях. На юге Алжирской Сахары (бассейн Илизи) на значительных глубинах в девонских отложениях распространены пресные подземные воды, в то время как в вышележащих породах каменноугольной системы воды имеют минерализацию более 200 г/л. Эти данные показывают ограниченность различных физико-химических теорий [18] для объяснения процессов концентрирования подземных вод и показывают ведущую роль вод бассейна седиментации при формировании химического облика подземных вод, что поддерживается большинством гидрогеологов [3, 6].

Сравнительная гидрогеохимия может внести свой вклад в решение вопросов эволюции гидросферы. Сравнение химического состава «седиментационных вод» различных бассейнов позволяет говорить о своеобразной геохимической специализации этих бассейнов с учетом общей климатической зональности и гидрологии соответствующих зон в различные периоды геологической истории. В этом смысле гидрогеохимические провинции формируются в результате синтеза геологических, географических и климатических факторов, которые изменяются во времени. Новые данные о характере процессов дегазации Земли, изменение объема по-

верхностной гидросферы и уровня океана свидетельствуют о весьма масштабных изменениях процессов выноса химических элементов, их разбавлении природными водами и о разной степени промытости осадочной толщи в различные периоды геологической истории.

*История подземных вод. Палеотипные, мезотипные и кайнотипные воды*

Региональная гидрогеология и геохимия всегда ставили вопрос о происхождении подземных вод и решали его, прежде всего, на основе их химического состава. Относительная независимость химии подземных вод от состава терригенных и карбонатных пород создает значительные трудности для сопоставления геологической истории седиментационного бассейна и залегающих в нем подземных вод, а значит и для понимания процессов их формирования. Поэтому вопрос о концентрации ионов в воде древних морских бассейнов пытаются решить, привлекая геохимические данные о составе эвапоритовых отложений и флюидных включений. Например, результаты исследований, проведенных как российскими, так и зарубежными исследователями, однозначно доказали снижение величин Са/Мг в течение мезозоя и кайнозоя [15, 25, 34, 35, 39, 39]. Свидетельства эволюции химического состава Мирового океана, основанные на характерных типах подземных вод различных седиментационных бассейнов, в наиболее категоричной форме принял Е. В. Посохов [15]. В течение фанерозоя имела место смена хлоркальциевого химического типа, характерного для палеозоя, на сульфатный, к которому принадлежит и вода современных океанов.

Более драматичная концепция касается изменения концентраций хлора с течением геологического времени, которая основывается на большом объеме ископаемых солей, выведенных из морской воды в течение фанерозоя. Страхов Н. М. [19] рассматривал

процесс галогенеза как «огромную опреснительную установку». На этом основании он полагал, что «соленость океанов на историческом этапе не могла оставаться постоянной – то уменьшалась, когда галогенез был особенно мощным, то возрастала, когда галогенез временно ослабевал». По некоторым оценкам соленость воды океана в раннем палеозое должна быть значительно выше, чем в современной морской воде. Яншин А. Л. [23] писал, что даже в фанерозойское время состав вод океана подвергался существенным изменениям в отношении общей солености и состава растворенных солей. О существенном превышении солености вод древних бассейнов по сравнению с соленостью современной морской воды свидетельствуют огромные размеры многих солеродных бассейнов, длительность соленакопления и возможная глубоководность бассейнов, где осаждение хлоридов при нормальной солености морской воды практически невозможно.

Сравнение химического состава подземных вод седиментационных бассейнов различного возраста показывает достаточно определенные тенденции в изменении солености вод, а именно уменьшение их солености. В раннем палеозое в ряде бассейнов северного полушария распространены воды особо высокой минерализации, обычно более 300 г/л. Их параметры приводятся в таблице 1. Для вод характерен существенно хлоркальциевый состав, содержание кальция достигает 40–70 г/л. Несколько пониженную минерализацию вод Балтийского бассейна (до 200 г/л) можно объяснить отсутствием прямого контакта с соленосными отложениями. Между терригенными отложениями кембрия и пермскими эвапоритами залегают 700-метровая толща силурийских глин, которая надежно изолирует эти отложения друг от друга.

Воды позднего палеозоя (девон-пермь) имеют несколько пониженную минера-

лизацию, для Волго-Уральской области – 200–270 г/л. С учетом этого был проведен анализ гидрохимических разрезов различных районов Восточно-Европейской платформы и Скифской плиты с выделением зоны «седиментационных вод». На основе изменения их химического состава во времени были установлены закономерности эволюции вод в течение палеозоя и мезозоя, что хорошо увязывается с масштабными процессами карбонатообразования и галогенеза в эти периоды [1]. Так, снижение концентрации Са в течение девонского и каменноугольного периодов хорошо коррелируется с масштабным карбонатообразованием, что должно привести к выводу из морской воды кальция. Снижение концентраций хлора в подземных водах коррелируется с пермским и позднеюрским галогенезом (табл. 1).

На этом фоне особым диссонансом выглядят данные по химическому составу вод Африканского континента. История геологического развития континента оказалась особенно благоприятной для накопления и сохранения значительных запасов пресных подземных вод в древних кристаллических массивах, которые никогда не погружались ниже уровня моря. В конце протерозоя и в раннем палеозое Сахара находилась в южной полярной зоне, и в это время на ее территории формировались мощные ледники. По разным оценкам объем льда и территория, покрытая ледниками, были соизмеримы или даже больше, чем объем и площадь ледового покрытия современной Антарктиды. По ориентировочным расчетам Э.Д. Ершова [6], общая площадь территории, покрытой в позднем ордовике материковым оледенением (включая вну-

Таблица 1

**Палеотипные воды.  
Гидрохимические параметры подземных вод палеозоя**

Бассейн, регион	Глубина, м	Минерализация г/л	Са г/л	Мg г/л	Возраст эвапоритов в разрезе бассейна
<b>Ранний палеозой</b>					
Уиллистон, Канада	2800	325	34	2	силур
Хасси Мессауд, Алжир	3400	340	40	8	триас
Балтийский бассейн, Россия	2500	200	40	4,9	пермь
Восточная Сибирь, Россия	3400	350	42	13	кембрий
Восточная Сибирь, Россия, кимберлитовая трубка	600	358	74	12,5	кембрий
<b>Поздний палеозой</b>					
Уиллистон, Канада, D1	2500	320	24	2,3	силур
Тимано-Печора, Россия, D2	4500	190	15	1,2	—
Волго-Урал, Россия, D2	1700	274	21	3,8	пермь
Волго-Урал, Россия, C1	1700	257	18	3,6	пермь
Днепровско-Донецкая впадина, Украина, C1	4200	260	36	1,2	пермь

тренние моря), составляла примерно 23,6 млн км<sup>2</sup>, в раннем силуре – 13,7 млн км<sup>2</sup>. Граница «криогенной шапки» южного полушария в позднем ордовике – раннем силуре могла достигать 35–40 ° южной палеошироты при толщине сахарского ледникового покрова около 3 км под его центральной частью.

Предполагается, что на территории Центральной и Восточной Африки, расположенной в континентальной части Гондваны и покрытой ледниковыми покровами, существовали перигляциальные условия и формировались многолетнемерзлые породы. Промерзание началось в Центральной Африке в позднем ордовике (460 млн лет назад). Позднее, в раннем силуре (420 млн лет назад) промерзли породы Восточной Африки. К этому времени относится и значительное снижение уровня океана [30, 36]. Такая корреляция событий свидетельствует о том, что объем поверхностной гидросферы мог быть меньше, чем в настоящее время, и процесс перехода морской воды в ледники мог привести к значительному повышению солености морской воды. Для седиментационных бассейнов Северного Полушария и характерен высокий уровень минерализации подземных вод палеозоя.

В позднем палеозое (каменноугольный период) южный полюс сместился в Южную Африку и началось таяние ледников Сахары с заполнением полостей кристаллических пород и прилегающих бассейнов пресной водой. Трансгрессия палеозойских морей в северные районы Сахары затронула высоко приподнятые кристаллические массивы, где сохранились пресные воды. Современная инфильтрация метеорных вод происходит в породы, хорошо промытые в прошлые геологические периоды. Если такая концепция верна, то огромные ресурсы пресных вод кристаллических массивов и нижнепалеозойских отложений Сахары следует отнести к слабовосполняе-

мым и статическим, что требует бережного к ним отношения.

Основной особенностью кристаллических массивов Сахары является повсеместное распространение пресных вод, в ряде случаев их минерализация ниже 0,1 г/л, что кажется достаточно странным для одного из самых засушливых регионов мира. Почти все пробы воды кембро-ордовикских и русловых отложений представлены пресными водами, в основном гидрокарбонатно-натриевого типа [22, 28]. Несколько более высокую минерализацию имеют воды зон тектонических нарушений. Особенностью этих вод является высокое содержание сульфатов, что и объясняет повышение минерализации по сравнению с водами других районов. Следует заметить, что эти воды залегают в зонах, обогащенных сульфидными минералами, и их окисление ведет к образованию серной кислоты, которая нейтрализуется породами, содержащими кальций. Его повышенные концентрации также фиксируются в этих водах.

Данные о минерализации и химическом составе вод в осадочных породах в бассейнах, примыкающих к наиболее хорошо изученному кристаллическому массиву в Южной Сахаре – Хоггару, показывают в основном их идентичность с водами кристаллического массива [14, 22]. По бассейну Илизи многочисленными анализами подтверждается распространение пресных и солоноватых вод в пласте F6 нижнего девона на большой территории, примыкающей к Хоггару. Химические анализы, приводимые в таблице 2 [11], показывают преобладание в составе вод натрия и гидрокарбонат-ионов. Содержание кальция и магния низкое. Следует обратить внимание на высокие концентрации HCO<sub>3</sub> в водах с минерализацией более 1 г/л.

На северо-восточном обрамлении Хоггара – бассейн Мурзук – на поверхность выходят кембро-ордовикские песчаники

**Химические анализы подземных вод пласта F6, бассейн Илизи [11]**

Месторождение, № скважины	Интервал опробыва- ния	Минера- лизация г/л	Концентрация ионов, мг/л					
			С <sub>1</sub>	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na+K
Эль Адеб-Лараш, 35	1472-1478	3,857	1135	200	970	290	90	957
Ла-Рекюле, 6	1734-1750	9,604	4028	590	1510	142	108	3226
Тигентурин, 38	1623-1632	4,309	1750	16	1030	140	10	1363
Ассекифаф, 1	1167-1176	0,622	71	180	184	51	5	131
Ассекифаф, 1	1078-1088	0,807	99	202	279	551	5	171
Иссауане, 1	1465-1488	0,617	134	125	150	41	28	139
Тан-Батек, 1	1276-1284	0,658	113	41	298	16	3	187
Гара, 1	1995-2020	1,409	470	45	418	74	13	390
Зауатане, 1	1686-1698	0,913	193	10	427	20	7	256

и конгломераты. В районе города Гат на алжиро-ливийской границе минерализация воды в колодцах до 0,3 г/л. Многочисленные родники, приуроченные к песчаникам девона и силура, имеют минерализацию воды до 0,8 г/л [5].

К западу от Хоггара располагается крупный бассейн Тауденни, сложенный отложениями верхнего протерозоя и палеозоя общей мощностью до 4000 м. Неглубоко залегающие отложения фундамента, кембрия, ордовика и силура дают пресную или солоноватую воду. В районе Бандиагара–Мали, минерализация воды в многочисленных колодцах и родниках, выходящих из трещиноватых песчаников кембрия и силура, составляет от 0,01 до 0,4 г/л [17, 5]. Аналогичная ситуация наблюдается на севере Нигера. Здесь кембро-ордовикские и девонские отложения содержат воду с минерализацией до 0,3 г/л. К югу минерализация воды в кембро-ордовикских отложениях повышается до 0,6 г/л, а в девонских отложениях до 21–28 г/л [5].

Низкая минерализация подземных вод большинством исследователей объясняется благоприятными условиями инфильтрации

в водоносные горизонты, учитывая ливневый характер осадков и хорошую вертикальную проницаемость разреза. Кроме того, основной объем инфильтрационных вод мог образоваться в течение длительного влажного периода в плейстоцене. Определение возраста подземных вод по данным изотопных исследований показало цифру 12000 лет [27], что соответствует этому периоду.

И все же современной инфильтрацией поверхностных вод нельзя объяснить повсеместное распространение пресных вод на обширной территории и на большой глубине. Гидрогеологические данные по кристаллическим массивам Северного полушария показывают, что пресные воды уже на глубине 200–300 м могут смениться рассолами. Так, на восточном склоне Воронежского массива уже на глубине 200 м девонские воды имеют минерализацию 36–48 г/л [10], несмотря на гумидный климат территории и широкое распространение пресных пластовых вод на меньших глубинах. Эти данные заставляют предположить, что геологическая история Африканского континента была особенно благоприятна для

накопления ресурсов пресных, а в ряде случаев и ультрапресных (минерализация менее 0,1 г/л) вод и их сохранности, несмотря на жесткие аридные условия региона, которые были заложены еще в докембрийский период, когда отмечались следы существования ледников. Особое значение для накопления воды на континенте имело ордовикское оледенение в период 440–420 млн лет назад. В это время районы Гондваны, находившиеся в южной полярной зоне, были покрыты мощными ледниковыми отложениями. Их следы отмечаются почти на всей территории Северной Африки, на Аравийском полуострове, в Южной Америке и Австралии.

В бассейне Илизи флювиогляциальные отложения сформировали хорошо проницаемые пласты, к которым приурочены многочисленные месторождения нефти и газа. Протяженные долины (ущелья), заполненные турбидитными осадками на северном склоне Тассили-Аджера, были сформированы потоками тающей воды, которые достигали береговой зоны моря. Предполагается, что сам ледник доходил до зоны континентального шельфа [26, 32]. Анализ строения этих долин позволяет предполагать, что они являлись проводниками огромных масс пресной воды, стекающей при таянии ледников по склонам кристаллического массива и опресняющей воду седиментационных

бассейнов, прилегающих к Хоггару. Породы были хорошо промыты от легкорастворимых хлористых солей, а в дальнейшем континентальное положение Хоггара и его высокое гипсометрическое положение обеспечило защиту от засоления грунтов на его территории водами морского генезиса.

В мезозойских отложениях наблюдается значительное снижение минерализации вод. Характерные анализы вод мезозойских отложений приводятся в таблице 3.

На огромной территории Западно-Сибирского мегабассейна распространен достаточно однотипный комплекс подземных вод. Несмотря на существование гидрохимической зональности, общий облик вод ниже региональной покрывки турон-олигоценового возраста характеризуется скорее как однообразный с характерной минерализацией 15–25 г/л, с отдельными аномалиями и колебанием минерализации в пределах 10–30 мг/л.

Для всего района характерно сходство средних значений минерализации (15–20 г/л) и в то же время широкие вариации значений минерализации по всем рассматриваемым площадям. Все это говорит о разнообразии процессов, влияющих на формирование химического состава подземных вод в каждом районе, и об одинаковом наборе этих процессов для каждого района.

Таблица 3

**Мезотипные воды. Характерные параметры вод мезозойских бассейнов**

Бассейн, регион	Глубина, м	Минерализация г/л	Ca г/л	Mg г/л	Возраст эвапоритов в разрезе бассейна
Северное море, J2	2800	30	0,8	0,14	пермь
Западная Сибирь, J2	2800	28	1,0	0,2	—
Западная Сибирь, K1	2400	24	0,6	0,1	—
Северный Кавказ, J2	3200	100	4,6	0,6	верхняя юра
Северный Кавказ, K1	2800	100	3,4	0,6	верхняя юра

Нижний этаж Западно-Сибирского бассейна объединяет водоносные комплексы отложений мелового и юрского возраста, с которыми связаны крупнейшие запасы нефти и газа, и приповерхностной части фундамента. От периферии к центру бассейна в связи с погружением и увеличением глинистости осадков происходит общее ухудшение условий водообмена и увеличение минерализации подземных вод. Во внутренней части бассейна подземные воды нижнего этажа залегают на глубинах более 1000 м. Их минерализация достигает 20–30 г/л. Такое строение бассейна привело к формированию взглядов о преимущественно седиментационном происхождении подземных вод.

Согласно этой модели, во всей центральной части бассейна развиты отжатые поровые воды, представляющие собой измененные воды древних морских бассейнов. На элизионных этапах в результате уплотнения осадков вместе с элизионными водами в коллектор поступают и углеводороды. Чем интенсивнее элизионный водообмен, тем большее количество углеводородов участвует в процессах нефтеобразования. Исторически сложилось, что такое мнение являлось преобладающим, и при рассмотрении гидрогеологических вопросов в основном анализировались процессы седиментационного водообмена и инфильтрации [9].

В то же время некоторые гидрогеологи поднимали вопрос об эндогенной составляющей при формировании химического состава подземных вод. Впервые предположение о возможности миграции  $\text{CO}_2$  из фундамента Западно-Сибирского бассейна и преобразовании под его воздействием солевого состава подземных вод было высказано А. А. Розиным в 1956 году [16]. Основанием для этого послужило отмечаемое на ряде участков обогащение растворенных газов углекислым газом и солевого состава гидрокарбонат-ионом. В Шаимском, а поз-

же в Межовском районах были вскрыты подземные воды с углекислым составом растворенных газов и преобразованным солевым составом. Впоследствии большое значение  $\text{CO}_2$  в формировании солевого состава подземных вод аномальной зоны Широкого Приобья и Прииртышья отмечалось и другими исследователями.

Согласно А. А. Розину [16], гидрогеологические условия внутренних закрытых районов Западно-Сибирского бассейна в значительной мере определяются рассеянной, рассредоточенной, визуально неприметной гидротермальной деятельностью. Проявления ее не такие четкие, как в вулканических районах, но принципиальная сущность одна – миграция глубинных флюидов, сопровождающаяся преобразованием их состава при взаимодействии с вмещающимися породами и при изменении термодинамических условий.

Перекликается с этими взглядами мнение В. И. Дюнина [3], согласно которому поднимающаяся вверх высокотемпературная газоводяная смесь из коры и верхней мантии в периоды тектонической активности создает необходимые предпосылки для формирования месторождений углеводородов. Внедряющаяся в осадочный чехол газоводяная смесь несет с собой широкий спектр углеводородов мантийного происхождения, которые смешиваются с имеющейся в осадочных отложениях микро- и макронепфтью, формирующейся в процессе внедрения, и создают различные по объему залежи углеводородов. Высокая температура гидротерм активизирует процессы образования микронепфти на всех уровнях геологического разреза осадочных отложений.

В общем виде гидрохимические инверсии, накопление гидрокарбонатов и органических кислот в подземных водах свидетельствует о водообмене между осадочным бассейном и консолидированной корой.

Повсеместное увеличение содержания гидрокарбонат-ионов в подземных водах вниз по разрезу может указывать на глубинный источник углекислоты. Для разных бассейнов проявление этих процессов зависит от состава вод бассейна седиментации. Для Волго-Уральской области поступление углекислоты в высококальциевые воды ведет к формированию карбонатного осадконакопления в водоемах и карбонатной цементации пород. Для Западно-Сибирского бассейна при низкой концентрации кальция в седиментационной воде происходит накопление гидрокарбонат-ионов в пластовой воде и смена хлор-кальциевого типа вод на гидрокарбонатно-натриевый. Формируются разные литогенетические типы бассейнов с различным характером как гидрологического режима, так и гидрохимического разреза осадочной толщи.

Для кайнозойских бассейнов характерны значительные колебания минерализации подземных вод, что отражает резкое изменение гидрологического режима бассейнов, имеющих в большинстве случаев ограниченные размеры. На это обстоятельство указывал Н. М. Страхов, когда писал о малых размерах и рассредоточенности внутриконтинентальных и краевых морских бассейнов, где узлы соленакопления теряют

свою четкую выраженность, как бы «размазываются».

Как правило, воды кайнозойских отложений окраинных морей имеют соленость, близкую к океанской (35 г/л), хотя в изолированных бассейнах соленость подземных вод может меняться в больших пределах (табл. 4).

*Заключение*

Три геологические концепции: расширяющейся Земли, тектоники литосферных плит (мобилизм) и базификации земной коры (фиксизм) – отражают отдельные процессы в мезокайнозойской истории Земли и могут рассматриваться как составные части общей глобальной тектоники. Представления о расширении Земли в послепалеозойское время и различной реакции на этот процесс Атлантического и Тихоокеанского сегментов земной коры позволят снять ряд противоречий, которые невозможно объяснить, если стоять на позиции одной концепции. Раскол континента по срединному хребту и последующий спрединг в Атлантике следует противопоставить выделению континента по окружности и, видимо, многочисленным внутренним расколам, по которым изливались базальты на поверхность континента. Все это сопровождалось выделением воды, объем поверхностной гидро-

*Таблица 4*

**Кайнотипные воды. Гидрохимические параметры кайнозойских бассейнов**

Бассейн, регион	Глубина, м	Минерализация г/л	Ca г/л	Mg г/л	Возраст эвапоритов в разрезе бассейна
Галф Кост, США, N	-	15-150	0-5	0-1,2	U. Jurassic
Галф Кост, США, Pg	3500	14-27	0,06-0,24	0,03	U. Jurassic
Северный Кавказ, Россия, Pg	750	32	0,5	0,2	U. Jurassic
Северный Кавказ, поровые воды глин, N1	300-900	15-30	0,6-2,0	0,4-1,2	U. Jurassic
Южный Каспий, Азербайджан, N2	1700	10-160	0,2-6,0	0-5,0	-
Сахалин, N	1300	16	0,6	0,03	-

сферы кратно увеличился в мезокайнозойское время с соответствующим снижением минерализации.

Историю подземной воды можно было бы связать с началом осадконакопления в седиментационном бассейне. Однако если современные моря с большой массой воды могут нивелировать процессы разгрузки подземных вод в водоемы, то в древних мелководных эпиконтинентальных морях этот процесс должен был отразиться на составе поверхностных и иловых вод в различных частях бассейна. Разломы и рифтовые системы в консолидированной континентальной коре являлись проводниками поверхностных вод на большие глубины, где в условиях высоких температур происходили фазовые переходы с образованием водяного пара и остаточных концентрированных рассолов [24]. В зависимости от солености трансгрессирующих морских или внедрения пресных континентальных вод в породы консолидированной земной коры, а также процессов испарения и концентрирования растворов формировался облик

подземных вод в породах фундамента. В дальнейшем при активизации тектонических движений эти воды могли изменить минерализацию воды в пластовых водонапорных системах.

Однако соленость исходного седиментационного бассейна во многом определяла и соленость подземных вод. Поэтому их история напрямую связана с историей морских водоемов в геологическое время, общей и региональной гидрохимической зональностью поверхностных вод. Объем континентального стока и изоляция создавали гидрохимическую специализацию для каждого бассейна, но общие закономерности в эволюции химического состава подземных вод определялись соотношением объемов поступления воды и хлора в различные периоды геологической истории, палеоклиматологией и условиями разгрузки подземных вод земной коры в бассейн седиментации. История гидросферы полностью отражает историю Земли, и решение этих проблем неразрывно связано.

#### Л и т е р а т у р а

1. Анисимов Л. А. Сравнительная гидрогеология Волго-Уральской области и Западно-Сибирского мегабассейна. Фундаментальные и прикладные вопросы гидрогеологии нефтегазоносных бассейнов: труды ИПГН РАН // Материалы III Всероссийской конференции (с международным участием), посвященной 90-летию А. А. Карцева. – М.: ГЕОС, 2015. – Вып. 1. – С. 22–26.
2. Баренбаум А. А., Ясаманов Н. А. Эволюция гидросферы и галактические кометы // Вестник МГУ. Сер. геол. – 2001. – № 4. – С. 9–19.
3. Басков Е. А., Кирюхин В. А. Эволюция подземной гидросферы в истории Земли // Эволюция геологических процессов в истории Земли. – М.: Наука, 1993. – С. 175–182.
4. Вернадский В. И. История природных вод // Избранные сочинения. – М.: изд-во АН СССР, 1960. – Т. 4. – Кн. 2. – 651 с.
5. Гидрогеология Африки / под ред. Н. А. Маринова. – М.: Недра, 1978. – 371 с.
6. Гуревич А. Е., Капченко Л. Н., Кругликов Н. М. Теоретические основы нефтяной гидрогеологии. – Л.: Недра, 1972. – 272 с.
7. Дюнин В. И. Гидродинамика глубоких горизонтов нефтегазоносных бассейнов. – М.: Научный мир, 2000. – 472 с.
8. Ершов Э. Д. Общая геокриология. – М.: изд-во МГУ, 2002. – 682 с.
9. Карцев А. А., Вагин С. Б., Матусевич В. М. Гидрогеология нефтегазоносных бассейнов. – М.: Недра, 1986. – 244 с.

10. Кисельгоф С. М. Новые данные по гидрогеологии девонских отложений северо-западной части Волгоградской области // Вопросы геологии и нефтегазоносности Волгоградской области. – Л.: Недра, 1965. – Вып. 3. – С. 310–323.
11. Морозов Л. И. Нефтегазоносность зон распространения инфильтрогенных вод. – М.: Недра, 1989. – 151 с.
12. Мейсон Б. Основы геохимии. – М.: Недра, 1971. – 312 с.
13. Орленок В. В. История океанизации Земли. – Калининград: Янтарный Сказ, 1998. – 248 с.
14. Пантелеев И. Я., Голубев С. М. Подземные воды Алжира. – М.: Недра, 1978. – 212 с.
15. Посохов Е. В. Химическая эволюция гидросферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 286 с.
16. Розин А. А. Подземные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна и их формирование. – Новосибирск: Наука, 1977. – 101 с.
17. Силин-Бекчурин А. И. Подземные воды Северной Африки. – М.: изд-во АН СССР, 1962. – 201 с.
18. Смирнов С. И. Историческая гидрогеология. – М.: Недра, 1991. – 236 с.
19. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. Т. 1. Типы литогенеза и их размещение на поверхности Земли. – М.: изд-во АН СССР, 1960. – 211 с.
20. Тимофеев П. П., Холодов В. Н. Эволюция бассейнов седиментации в истории Земли // Известия АН СССР, сер. геол. – 1984. – № 7. – С. 10–31.
21. Фролов В. Т., Фролова Т. И. Происхождение Тихого океана. 2 изд. доп. – М.: МАКС Пресс, 2011. – 52 с.
22. Шубин М. А. Подземные воды центральной и юго-западной Сахары. – Волгоград: Принт, 2002. – 117 с.
23. Яншин А. Л. Основные проблемы соленакопления. Проблемы соленакопления. – Новосибирск, 1977. – Т. 1. – С. 5–15.
24. Bischoff J. L. and Rosenbauer R. J. Salinity variations in submarine hydrothermal systems by layered double-diffusive convection // J. Geol. – 1989. – N.97. – PP.613–623.
25. Reconstruction past sea water Mg/Ca and Sr/Ca from Mid-Ocean Ridge flank calcium carbonate veins / R. Coggon, D. Teagle, C. Svith-Duque, J. Alt, M. Cooper // Science. – 2010. – V.327. – N5969. – PP.1114–1117.
26. Deschamps R., Eschard R., Roussé S. Architecture of Late Ordovician glacial valleys in the Tassili N'Ajjer area (Algeria) // Sedimentary Geology. – 2013. – V.289. – PP.124–147.
27. Dodo A. Caractérisation des systemes aquifères transfrontalières du Niger. Managing shared aquifer resources in Africa. Published in 2004 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Composed by Marina Rubio, 93200 Saint-Denis © UNESCO 2004. – PP.123–128.
28. Durozoy G. Hydrogeologie du Cambro-Ordovicien des Tassili Oua-N-Ahaggar (Sahara Sud-Oriental) // Publ. Serv. de la Carte Geol. de l'Algerie. – 1960. – Bull.28. – PP.43–59.
29. Emery, D. & Myers, K. (eds.) Sequence Stratigraphy. – 1996. – 304 p.
30. Ghienne J.-F., Heron D. P., Moreau J., Denis M., Deynoux M. The Late Ordovician glacial sedimentary system of the North Gondwana platform. In: Hambrey, M., Christoffersen, P., Glasser, N., Janssen, P., Hubbard, B. and Siegert, M. (eds.) Glacial Sedimentary Processes and Products // Special Publication, International Association of Sedimentologists. – Blackwells: Oxford, 2007. – 295 p.
31. Hanor, J. S. Fifty years of thought on the origin and evolution of subsurface sedimentary brines: in Boardman, S. B. (Editor), Revolution in the Earth Sciences: Advances in past half century: Kendall/Hunt, Dubuque. – 1983. – PP.99–111.
32. Hirst J. P. P, Benbakir A, Payne D. F. and Westlake I. Tunnel valleys and density flow processes in the Upper Ordovician glacial succession, Illizi Basin, Algeria: Influence on reservoir quality // Journal of Petroleum Geology 25:3. – 2002. – PP.297–324.

33. Holland H. D. The geologic history of seawater // *Treatise of Geochemistry*. Elsevier. – 2007. – V.6. – PP.583–625.
34. Horita J., Zimmermann H., and Holland H. Chemical evolution of sea water during Phanerozoic: Implication from the record of marine evaporates // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2002. – V.66. – PP.3733–3756.
35. Oscillations in Phanerozoic Seawater Chemistry: Evidence from Fluid Inclusions / T. K. Lowenstein, M. N. Timofeeff, S. T. Brennan, L. A. Hardie and R. V. Demicco // *Science*. – 2001. – V.294. – PP.1086–1088.
36. 440 Ma ice stream in North Africa / J. Moreau, J.-F. Ghienne, D. P. Heron, J.-L. Rubino, M. Deynoux // *Geology*. – 2005. – V.33. – N9. – PP.753–756.
37. Moulla A. S., Guendouz A., Cherchali M. E. H. Contribution des isotopes à l'étude des ressources en eau souterraines transfrontalières en Algérie. Managing shared aquifer resources in Africa. Published in 2004 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization Composed by Marina Rubio, 93200 Saint-Denis © UNESCO 2004. – PP.55–67.
38. Secular variation in the major-ion chemistry of seawater: Evidence from fluid inclusions in Cretaceous halites / N. M. Timofeeff, T. K. Lowenstein, M. A. Martins da Silva, N. B. Harris // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2006. – V.70. – PP.1977–1994.
39. Tyrrell T. and Zeebe R. History of carbonate ion concentration over the last 100 million years // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2004. – V.68. – N17. – PP.3521–3530.

*УДК 556.304 (470.44)*

**РЕЗУЛЬТАТЫ РЕЖИМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ  
САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ В 2010–2014 ГГ.**

© 2017 г. С. Я. Цуркан, А. Г. Самойлов, Н. Ю. Зозырев,

А. О. Токарский, В. М. Татару

АО "Нижне-Волжский НИИ геологии и геофизики"

Наблюдения за режимом подземных вод Саратовской области ведутся с 60-х годов прошлого столетия. Однако в открытой печати об этих работах сообщений крайне мало. Поэтому мы хотим кратко опубликовать результаты наших исследований за 2010–2014 гг.

Саратовская область в гидрогеологическом аспекте относится к регионам со сложными условиями формирования подземных вод. Территория области расположена в пределах трех артезианских бассейнов (АБ) II порядка: Приволжско-Хопёрского, Сыртовского и Прикаспийского. Правобережье области приурочено к юго-восточной

части Приволжско-Хопёрского артезианского бассейна. Здесь в толще мезозоя и палеогена развиты напорные и субнапорные нисходяще-восходящие воды, базисом разгрузки которых являются долины рек Волги, Медведицы, Хопра, Латрык и др. Восточная граница бассейна проходит по современному руслу р. Волги. Левобережье области южной своей частью расположено в Прикаспийском артезианском бассейне, а остальная – большая часть – попадает в пределы Сыртовского артезианского бассейна. Граница между этими бассейнами проходит примерно по линии г. Красный Кут – р. п. Мокроус – г. Ершов – р. п. Дерга-