ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ ВОДА-ПОРОДА В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА ВОСТОКА РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Мусин Р. Х.

Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия, E-mail: Rustam.Musin@kpfu.ru

АННОТАЦИЯ: Рассмотрены литолого-фациальные особенности верхней части разреза и особенности состава локализованных здесь подземных вод. Показано, что составы маломинерализованных родниковых вод определяются кратковременным взаимодействием атмосферных осадков с почвами и горными породами. Рассчитаны градиенты концентраций основных компонентов состава подземных вод, проявляющиеся при нисходящей фильтрации, и определена их связь с геолого-гидрогеологическими условиями.

1. ВВЕДЕНИЕ

Верхняя часть разреза на востоке Русской платформы сложена полигенными отложениями пермской, неогеновой и четвертичной систем. В этой осадочной толще локализованы подземные воды (ПВ) разнообразного состава и варьирующей минерализации. Формирование этого состава первоначально определяется взаимодействием инфильтрующихся атмосферных осадков с породами разреза. Цель работы – анализ начального этапа формирования состава пресных ПВ в поле развития пермской осадочной толщи.

2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования явились особенности состава ПВ, преобладающие разновидности пермских пород и их разрезы в пределах Республики Татарстан (РТ). Основные использованные методы исследований – метод водных вытяжек и комплексный гидрогеохимический анализ пермских разрезов в водораздельных областях.

Стратиграфический объем пермских отложений в приповерхностной зоне РТ (выше уреза рек) включает образования от сакмарского яруса нижней перми до вятского яруса верхней перми. Максимальным площадным распространением характеризуются отложения казанского и уржумского ярусов средней перми, которые занимают более 2/3 территории РТ. Первые обычно вскрываются в нижней и средней части водораздельных склонов, а вторые – в верхней части большинства водоразделов. Казанские отложения отличаются отчетливо проявленной вертикальной и латеральной литолого-фациальной зональностью. На значительной части территории вверх по разрезу отмечается смена морских терригенно-карбонатных (сульфатно-терригенно-карбонатных) отложений континентальными

карбонатно-терригенными, а по латерали такое замещение отмечается в направлении с запада на восток [1]. Кроме этого отложения казанского яруса характеризуются четко выраженной ритмичностью. Седиментационные ритмы обычно начинаются песчаниками и завершаются карбонатными породами. Морские отложения отличаются преобладанием карбонатной и глинистой компоненты, а также серой окраской, мощности отдельных прослоев при этом могут достигать 8–10 м, реже более. Континентальные образования обычно представлены песчано-глинистыми породами пёстрой (красноцветной) окраски, мощности отдельных прослоев редко когда превышают 3–5 м. Уржумские отложения характеризуются незакономерным чередованием терригенных и карбонатных пород, при существенном преобладании первых, имеющих пёструю окраску. Толщины отдельных прослоев, как и в предшествующем случае, обычно не превышают 3–5 м. Общая мощность казанских отложений может достигать 160–200 м, а уржумских – 120 м.

Особенности разрезов среднепермских отложений, отличающихся многократным чередованием пород с различной водопроницаемостью, определяют развитие здесь межпластовых подземных вод. Области их питания являются водораздельные зоны, а областями разгрузки – речные долины. В пределах первых наряду с латеральной фильтрацией проявлено и нисходящее перетекание. ПВ пермских отложений обладают варьирующими в широких пределах составом и минерализацией. В областях преобладания природных факторов в их формировании минерализация ПВ постепенно увеличивается вниз по разрезу и в направлении к зонам разгрузки от 0,15–0,2 до 0,6–1,0 г/л (участками 2–2,5 г/л). При этом состав ПВ изменяется от гидрокарбонатных кальциевых и магниевых до гидрокарбонатных натриевых и

сульфатных магниевых-кальциевых. Данные гидрогеохимические особенности хорошо объясняются разной длительностью взаимодействия воды с карбонатно-терригенным (участками сульфатно-карбонатно-терригенным) водовмещающим минеральным матриксом. Техногенный фактор в формировании состава подземных вод играет значительную роль на территории населенных пунктов, в пределах крупных промышленных зон, в районах поверхностных полигонов захоронения различных отходов, а также на площадях крупных нефтяных месторождений, разрабатываемых уже более 50 лет. Минерализация вод первых от поверхности водоносных горизонтов здесь может достигать 5-12 г/л, а жёсткость – 60-135 ммоль/л [2].

Природные факторы предопределяют развитие таких гидрогеохимических процессов, как – углекислотное выщелачивание карбонатно-терригенных пород, выщелачивание и растворение гипсов, гидролиз терригенных пород, сорбция и ионный обмен, и др., которые с разной интенсивностью протекают в водовмещающих средах различного состава и возраста. Для определения характера протекания этих процессов в системе “вода-порода” нами проанализировано более ста водных вытяжек с основных разновидностей пермских пород, а также почв и покровных четвертичных образований отдельных районов РТ. Подготовка вытяжек осуществлялась следующим образом – 100 граммов размельченной породы заливались 1 литром воды. Через одни сутки вытяжка фильтровалась и подвергалась аналитическим исследованиям. При подготовке вытяжек использовалась разнотипная вода – дистиллированная, талая снеговая и родниковая. Талая снеговая вода характеризовалась $\text{SO}_4\text{-HCO}_3/\text{Na-Ca}$ составом, её минерализация варьировала в диапазоне 0,016-0,07 г/л, а рН 5,86-6,64. Родниковая вода имела HCO_3/Ca и $\text{SO}_4\text{-HCO}_3/\text{Mg-Ca}$ состав, минерализацию 0,3 и 0,47 г/л. В вытяжках определялись рН, электропроводность, мутность, цветность, перманганатная окисляемость, содержания макро- и мезокомпонентов, а также концентрации Fe, Mn, Pb, Ni, Cd, Cu, Co, Cr, Zn. Составы водных вытяжек сопоставлялись с составами вод родников, расположенных в верхней части водораздельных склонов вне зон интенсивного техногенного воздействия. Такие родники

имеют нисходящий характер и обычно отличаются минимальной минерализацией и жёсткостью. Формирование их состава определяется непродолжительным взаимодействием атмосферных осадков с почвами и пермскими породами. Роль литолого-фациального фактора в формировании состава подземных вод определялась и по анализу данных гидрогеохимического исследования водораздельных участков. Здесь проявлена, преимущественно, нисходящая фильтрация, т.к. поверхностные водоразделы в РТ обычно являются и водоразделами ПВ. Формирование состава ПВ на таких участках определяется взаимодействием литогенной составляющей первоначально с атмосферными осадками, а далее – уже с их трансформированными “дериватами”. Данное взаимодействие может быть отражено концентрационными градиентами, которые определяются так [3]:

$$\text{Grad}C = (C_2 - C_1) / (h_2 - h_1),$$

где $\text{grad}C$ – градиент концентраций (мг/л*м, ммоль/л*м и т.д.); C_2 и C_1 – концентрации компонентов (значения параметров) в подземных водах на глубинных уровнях, соответственно, h_2 и h_1 .

Концентрационные градиенты определены по 44 водораздельным скважинам для трех глубинных уровней, а также для разных типов разрезов. Дополнительно, полученные значения концентрационных градиентов всех основных компонентов состава ПВ были подвергнуты корреляционному анализу, в котором учитывались и следующие данные: возраст водовмещающих и перекрывающих их пород; мощности опробованных водоносных горизонтов и их “перекрывтия”; подробная литолого-фациальная характеристика этих горизонтов и перекрывающих зон в виде учета в строении разреза доли каждой основной литологической разности пород определенной фации (терригенные породы подразделялись на сероцветные (предположительно морские) и красноцветные (континентальные); карбонатные породы учитывались суммарно, вне зависимости от их положения в серо- или красноцветной частях разреза; дополнительно рассчитывался общий потенциал глинистых пород, без учета их фациальных особенностей).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ водных вытяжек на разнотипной воде показал, что максимальной выщелачивающей ак-

тивностью обладают атмосферные осадки и дистиллированная вода. Основными минерализаторами ПВ являются почвы, глины и карбонатные породы. Даже кратковременное взаимодействие с

ними атмосферных осадков приводит к формированию растворов, составы которых практически аналогичны составу наименее минерализованных родниковых вод (табл. 1).

Таблица 1. Сопоставление составов маломинерализованных родниковых вод с составами водных вытяжек

Выборка	Кол-во проб	Сухой остаток, мг/л	Жёсткость, ммоль/л	Окисляемость, мгО/л	Компоненты, мг/л				
					HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	(Na+K) ⁺
Родниковые воды (Р ₂₋₃)	100	127-250 200-240	1,9-5,4 3,5-4,5	0-8,5 1,3-4,0	92-317 180-260	0-46 4-15	0-41 3-10	0-24 3-12	0-24 3-15
Почвы (Q)	43	27-226 70-160	0,3-3,5 1-2	1-17 7-12	12-214 40-180	0,5-37 1-8	0,6-29 1-4,5	0-94 0,5-4	2-36 3-24
Суглинки (Q)	24	42-182 76-114	0,4-2,3 0,6-1,7	0-15 3-8,4	24-160 50-128	1,4-35 3,3-17	0,4-6,9 0,7-3,0	0-3,4 0,2-2,2	2,4-31,2 3,2-23
Песчаники (Р ₁₋₃)	36	26-165 43-103	0,2-2,1 0,4-1,1	1,1-11 2,0-9,0	12-134 48-98	1,0-29 1,3-12	0,4-6,6 0,5-2,3	0,2-6,8 0,6-2,4	2-57 3,2-14
Глины (Р ₂₋₃)	28	41-411 65-103	0,5-4,3 0,7-1,7	0-9,0 3,6-5,8	36,6-104 73-98	1,3-224 1,4-6,6	0,7-3,5 0,7-2,7	0,2-13 0,5-3,0	2,2-32 4,1-6,0
Карбонатные породы (Р ₂)	28	76-285 110-200	0,8-3,0 1,0-2,4	0-4,5 1-2,5	37-220 60-160	14-100 17-50	0,4-11 0,6-5,0	0-13,2 0,6-3,6	2,3-26 2,5-8

Примечание. В таблице отражены особенности состава водных вытяжек на основе дистиллированной и талой снеговой воды; в числителе приведены предельные значения (минимум–максимум), в знаменателе – преобладающие; особых различий в составе вытяжек с пород одного литотипа, отличающихся лишь фаціальными условиями формирования, не выявлено.

Соответствие отмечается практически по всем компонентам и параметрам, за исключением жёсткости и концентраций HCO₃⁻. Максимальные содержания гидрокарбонатов в вытяжках составляют 220 мг/л, при преобладающих значениях 50-160 мг/л, а их преобладающие содержания в маломинерализованных родниковых водах, вскрывающихся на самих верхних гипсометрических уровнях, превышают 180 мг/л. Это связано с тем, что формирование состава вытяжек в лабораторных условиях проходило при концентрации СО₂ в атмосферном воздухе 300 ppm. А формирование состава ПВ происходит при более высоком его содержании. По данным газовой съемки, проведенной нами во многих районах РТ, содержания СО₂ на

уровне почвенного и подпочвенного горизонтов составляют 800-120000 ppm. Следовательно, ПВ в зоне аэрации и в зоне насыщения характеризуются как более высокими содержаниями гидрокарбонатов, так и более высокой углекислотной агрессивностью и выщелачивающей способностью. Длительностью взаимодействия таких вод с минеральным матриксом можно объяснить практически все особенности состава пресных ПВ в техногенно слаборазрушенных районах РТ. Вертикальные концентрационные градиенты, полученные по обработке геологических и гидрогеохимических данных по “водораздельным” скважинам, расположенным в нефтяном регионе Татарстана, приведены в таблице 2, а их связи – в таблице 3.

Таблица 2. Значения градиентов минерализации при вертикальной нисходящей фильтрации в пермских отложениях нефтяного региона Татарстана

Параметр	Глубина залегания, м	Терригенные разрезы		Карбонатно-терригенные разрезы		Разрезы с влиянием нефтегазразработок	
		«нормальные»	с гипсом	«нормальные»	с гипсом	«нормальные»	с гипсом
Минерализация	до 50	3,3-7,2	6,3	4,3-7,0	4,6-16,3	11,4-34	6,4-60,5
	50-100	(-1,1)-1,7	4,1-44,9	0,1-2,8	1,6-79,2	(-35)-(-4,4)	(-4)-63,2
	>100	0,1-0,6	1,2-17,6	(-2)-3,9	0,9-149	(-28)-17,7	

Примечание. Значения градиентов для первого глубинного уровня определены с учетом состава атмосферных осадков.

Таблица 3. Корреляционные связи значений градиентов концентраций основных компонентов состава ПВ с отдельными геолого-гидрогеологическими параметрами

Геолого-гидрогеологические показатели	Grad Минер.	Grad Жестк.	Grad HCO_3^-	Grad Cl^-	Grad SO_4^{2-}	Grad Ca^{2+}	Grad Mg^{2+}	Grad $(\text{Na}+\text{K})^+$
Глубина кровли водонос. горизонта	-0,01	-0,16	-0,70	-0,19	0,43	-0,07	-0,31	0,14
<i>Глинистые породы</i>	-0,33	-0,46	<i>-0,21</i>	<i>-0,21</i>	<i>-0,22</i>	-0,46	<i>-0,26</i>	<i>0,21</i>
<i>Карбонат. породы</i>	0,43	0,43	<i>0,18</i>	<i>0,16</i>	0,35	0,43	<i>0,26</i>	<i>0,11</i>
Разрезы с влиянием нефте- паработок	0,51	0,53	0,02	0,76	-0,08	0,49	0,45	0,32
Загипсованные разрезы	0,41	0,29	-0,49	0,10	0,66	0,37	0,01	0,23

Примечание. Полужирным шрифтом выделены значимые коэффициенты парной корреляции; первый показатель характеризует зону перекрытия водоносных горизонтов, следующие два (курсив) – водоносные горизонты; полные варианты таблиц 2 и 3 приведены в [3].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особенности состава ПВ в верхней части разреза РТ вне зон интенсивного техногенного воздействия в первую очередь определяются взаимодействием атмосферных осадков с минеральным матриксом. Максимальной минерализующей ролью характеризуются почвы, а также глины, карбонатные и сульфатные породы пермской системы. Определяющий вклад в формирование минерализации и состава ПВ оказывают литологические особенности водоносных горизонтов в виде соотношения сульфатных,

карбонатных и глинистых пород, а также глубина их залегания, определяющая время взаимодействия в системе “вода-порода”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология Татарстана: Стратиграфия и тектоника /Под ред. Б.В. Бутова. – М., ГЕОС, 2003. – 402 с.
2. Мусин Р.Х. Техногенные изменения в гидrolитосфере Республики Татарстан // Недропользование XXI век. – 2013. – № 5. – С. 61-66.
3. Мусин Р.Х., Калкаманова З.Г. Формирование состава подземных вод в верхней части гидrolитосферы Восточно-Закамского региона Татарстана // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 2. – С. 18-22.

FEATURES OF INTERACTION IN THE WATER-ROCK SYSTEM IN THE UPPER PART OF THE SECTION IN THE EAST OF THE RUSSIAN PLATFORM

Musin R. Kh.

Kazan Federal University, Kazan, Russia, E-mail: Rustam.Musin@kpfu.ru

ABSTRACT: Lithological-facies features of the upper part of the section and composition features of underground water localized here are considered. It is shown that composition of low-mineralized spring water are determined by the short-time interaction between atmospheric precipitation, soils and rocks. Concentration gradients of the main components of groundwater composition which are shown in vertical filtration are calculated and its relation with geological and hydrogeological conditions is determined.