

**Р.Х. Мусин**

канд. геол.-мин. наук
Казанский федеральный университет
Институт геологии и нефтегазовых технологий
доцент
Rustam.Musin@kpfu.ru

Техногенные изменения в гидrolитосфере Республики Татарстан

Охарактеризованы техногенные и гидрогеологические условия Республики Татарстан. Показано, что наиболее значительные изменения качественного состояния подземных вод произошли в районах интенсивных нефтеразработок и в крупных промышленно-селитебных зонах

The author characterized technological and hydrogeological conditions of the Republic of Tatarstan. It is shown, that the most significant changes of the qualitative state of underground water occurred in areas with intensive oil development and in the major industrial-residential areas

Ключевые слова: подземные воды, загрязнение, градиенты концентраций, водосборные бассейны
Keywords: underground water, pollution, concentration gradients, water catchments

Одна из мировых геоэкологических проблем – ухудшение качества природных вод и сокращение ресурсов питьевых вод [5, 6 и др.]. В связи с этим актуальной становится задача выявления характера и степени изменения во времени состава и качества в первую очередь подземных вод (ПВ) верхней части геологического разреза.

Республика Татарстан (РТ) расположена в восточной части Восточно-Европейской платформы, в пределах Волго-Сурского и Камско-Вятского артезианских бассейнов, в области достаточного увлажнения. Площадь РТ составляет 68 тыс. км², численность населения – 3,6 млн человек. Ее территория интенсивно освоена, примерно равномерно заселена. Площади лесных угодий составляют 17%,

сельскохозяйственных – 65%, на водную поверхность приходится 6,4% от общей площади РТ [4]. Плановые гидрогеологические работы в РТ проведены в 1950–1970 гг. Значительная часть ее территории в последние 15–20 лет покрыта разномасштабными исследованиями гидрогеоэкологической направленности.

Зона активного водообмена охватывает комплексы сульфатно-карбонатно-терригенных пермских, терригенных плиоцен-четвертичных и, в крайней юго-западной части РТ, карбонатно-терригенных мезозойских отложений. Ее мощность варьирует в пределах 80–350 м. На большей части территории она подстилается 20–60-метровым тастубским горизонтом карбонатно-сульфатных пород

сакмарского яруса. В этой части гидрогеологического разреза выделяется ряд водоносных горизонтов и комплексов, связанных перетеканием по схеме А.Н. Мятлева через разделяющие глинистые прослои. Из них наиболее выдержанными являются «лингуловые глины» средней мощностью 10–15 м, залегающие в основании нижнеказанского подъяруса. Пачкой «лингуловые глины» верхняя гидродинамическая зона подразделяется на 2 части – с преимущественным развитием пресных и солоноватых ПВ, соответственно, выше и ниже этой пачки. Общий ресурсный потенциал пресных ПВ в РТ составляет 5,46 млн м³/сут., а величина утвержденных эксплуатационных запасов питьевых ПВ превышает 1 млн м³/сут. [4]. Наиболее продуктивными элементами гидрогеологического разреза являются новейшие отложения, выполняющие эрозионные врезы палео- и современных рек, и представленные песчаными русловыми фациями, а также «надлингуловые» песчано-карбонатные пермские образования в прибортовых частях речных долин.

Природные факторы формирования химического состава ПВ обусловили гидрогеохимическую дифференцированность зоны активного водообмена. В ее верхней части преимущественным развитием пользуются гидрокарбонатные

кальциевые и магниевые-кальциевые воды (далее типы ПВ будут приводиться символическими обозначениями в порядке увеличения процентных концентраций) с минерализацией 0,2–0,5 г/дм³. Нижняя часть является полем распространения в основном SO₄ (HCO₃–SO₄, Cl–SO₄, SO₄–Cl) разнообразных по катионам вод с минерализацией до 2–5 г/дм³. Эти особенности состава определяются временем взаимодействия в системе «вода–порода» и проявлением следующих основных гидрогеохимических процессов – углекислотного выщелачивания карбонатных пород, выщелачивания и растворения гипсов, гидролиза терригенных образований, ионного обмена, смешения. Природный характер протекания этих процессов обуславливает благоприятное питьевое качество пресных ПВ на большей части РТ.

По степени техногенного воздействия на окружающую среду в пределах Татарстана можно выделить отдельные районы двух типов – с относительно высоким и относительно низким уровнями воздействия. К первым относятся площади городских агломераций и их ближайшие окрестности, а также юго-восточный регион Республики, где идет интенсивная разработка нефтяных месторождений. Остальную часть территории, представленную сельско-

Рис. 1.

Расположение изученных в гидрогеохимическом отношении площадей: 1 – контуры изученных районов и их номера, 2 – контуры крупных нефтяных месторождений



хозяйственными и лесными угодьями с небольшими населенными пунктами, можно отнести к районам второго типа.

Для выявления характера и динамики изменения качества ПВ в этих районах проведено сопоставление гидрогеохимического материала 1960-х и 1990–2010-х гг. по 4 площадям, отличающихся характером и интенсивностью проявления техногенеза (**рис. 1**). С целью получения наиболее корректной информации и исключения вариаций состава ПВ, связанных с особенностями их питания, каптажа и некоторыми другими факторами, использовались аналитические данные преимущественно по родникам, опробованным в летнюю межень, равномерно распределенным по площади и расположенным на удалении от населенных пунктов. Разновременный гидрогеохимический материал был подвергнут разносторонней обработке.

В нефтяном регионе РТ максимальными статическими и динамическими запасами пресных ПВ обладают отложения казанского яруса. За 50–60 лет интенсивных нефтеразработок произошла существенная трансформация первично HCO_3^- и $\text{SO}_4-\text{HCO}_3^-$ состава этих вод за счет утечек попутных нефтяных вод, характеризующихся хлоридным натриево-кальциевым составом и минерализацией до 250 г/л, из различных емкостей и трубопроводов, и заколонных перетоков [2, 7, 8]. В настоящее время на большей части крупных и давно разрабатываемых Ромашкинского, Ново-Елховского и Бавлинского месторождений, контуры которых отражены на **рис. 1**, на уровне казанских образований развиты Cl и HCO_3-Cl воды с минерализацией до 3–5 г/дм³ и общей жесткостью до 70 (в основном до 20) ммоль/дм³. Краевые зоны этих месторождений отличаются распространением $\text{Cl}-\text{HCO}_3^-$ вод с минерализацией до 1,0–1,5 г/дм³ и общей жесткостью – 7–10 ммоль/дм³ (**рис. 2**).

Динамику изменения во времени состава рассматриваемых ПВ хорошо отражают градиенты концентраций, определяемые по выражению:

Рис. 2.

Схематическая гидрогеохимическая карта нижнеказанского водоносного комплекса в Восточно-Закамском (нефтяном) регионе РТ:

1–6 – типы вод по анионному составу:
 1 – гидрокарбонатный, 2 – сульфатный,
 3 – хлоридный; 4–6 – смешанный:
 4 – с преобладанием гидрокарбонат-иона,
 5 – с преобладанием сульфат-иона,
 6 – с преобладанием хлорид-иона; 7 – зоны отсутствия нижнеказанского комплекса

$$\text{grad}C = \frac{C_2 - C_1}{t_2 - t_1},$$

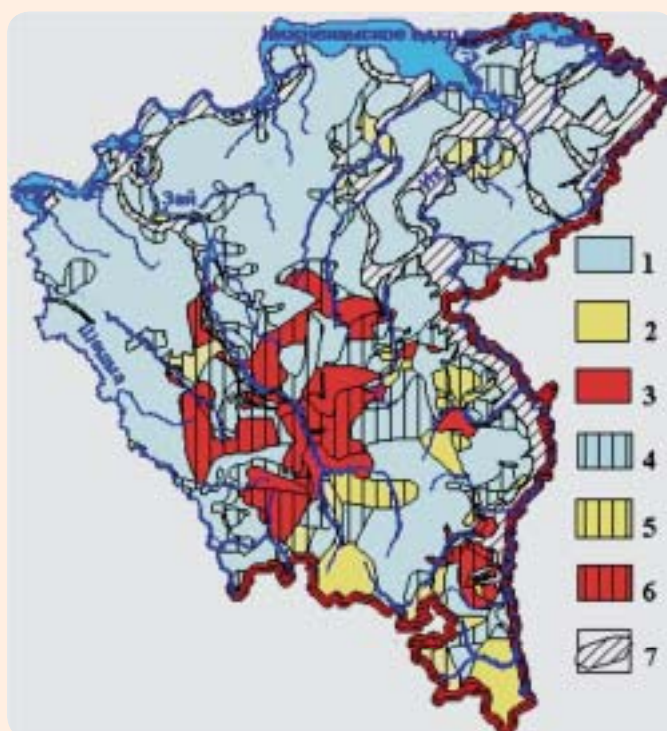
где $\text{grad}C$ – градиент концентраций (мг/дм³·год, ммоль/дм³·год и т.д.); C_2 и C_1 – средние содержания компонентов (значения параметров) в водах определенных гидрогеологических подразделений в пределах конкретных водосборных бассейнов на различные отрезки времени; $(t_2 - t_1)$ – интервал времени между этапами площадного гидрогеохимического опробования.

На основе этих градиентов возможен расчет времени относительно последнего этапа опробования, через которое основной объем ПВ в пределах водосборных бассейнов при существующих природно-техногенных условиях потеряет питьевое качество (содержания отдельных компонентов превысят предельно-допустимые концентрации, если они не были достигнуты на последнем этапе опробования):

$$T = \frac{\text{ПДК} - C_2}{\text{grad}C},$$

где T – время в годах.

По значениям градиентов концентраций и временной характеристике все водосборные бассейны, площади которых обычно не превышают 150–200 км², в пределах нефтяного региона можно подразделить на 4 типа (группы) по степени изменения (ухудшения) состава ПВ казанских отложений. Так, градиенты изменения хлорид-иона, общей жесткости и время превышения ПДК этих параметров



составляют (первые две пары цифр – данные по хлоридам, остальные – по жесткости):

- бассейны с крайне слабым изменением состава ПВ – (0,1–2,1 мг/дм³·год), (130–5040 лет); (0,001–0,05 ммоль/дм³·год), (18–230 лет);

- бассейны со слабым изменением состава ПВ – (2,5–6 мг/дм³·год), (24–128 лет); (0,05–0,1 ммоль/дм³·год), (0–15 лет);

- бассейны со средним изменением состава ПВ – (7,5–13,6 мг/дм³·год), (0–13 лет); (0,1–0,2 ммоль/дм³·год), (0 лет);

- бассейны с сильным изменением состава ПВ – (14–27,5 мг/дм³·год), (0 лет); (0,23–0,6 ммоль/дм³·год), (0 лет).

Две последние группы бассейнов маркируют наиболее интенсивно осваиваемые площади нефтяных месторождений. Первые две – располагаются по периферии и за пределами нефтяных объектов. Полученные результаты позволяют прогнозировать ухудшение качества пресных ПВ в пределах вводимых в разработку малых нефтяных месторождений, а при получении соответствующих данных – и улучшение качества вод на выработанных площадях.

Другим типом районов с относительно высоким уровнем воздействия на окружающую среду являются территориально-промышленные узлы с высокой концентрацией населения, предприятий и интенсивным земледелием. Хорошо изучен Нижнекамский территориально-промышленный комплекс, включающий площади Нижнекамска, Набережных Челнов, Елабуги и их окрестностей с предприятиями нефтехимии и машиностроения (Нижнекамскнефтехим, КАМАЗ и др.). Ухудшение химического состава и качества пресных ПВ, главным образом, в самых верхних элементах гидрогеологического разреза – четвертичном и уржумском водоносных комплексах, – проявлено концентрированием, в основном, соединений азота, органических веществ и ряда тяжелых металлов. Максимальное накопление этих компонентов фиксируется в водах четвертичных аллювиальных отложений, качество основного объема которых не отвечает питьевым стандартам. Градиенты концентраций отдельных компонентов составляют (в мг/дм³·год): NH_4^+ и $\text{Fe}_{\text{общ}}$ – 0,001–0,01; NO_3^- – 0,1–2,0. Относительно стабильный во времени состав вод более нижних гидростратиграфических уровней определяется высокой сорбционной емкостью и низкой водопроницаемостью глинистых прослоев уржумских отложений, отличающихся широким площадным распространением, а также проявлением положительного вертикального градиента потоков (потоки направлены снизу вверх) в долине Камы, что определяет

развитый здесь четвертичный водоносный комплекс как область разгрузки для остальных гидрогеологических подразделений.

Для характеристики изменения во времени состава пресных ПВ в районах с относительно низким уровнем техногенного воздействия изучено междуречье Камы и Вятки, а также правобережье Волги (Куйбышевского водохранилища), выделяющееся как Предволжский регион РТ (рис. 1, районы 3–4).

Камско-Вятское междуречье – область сельскохозяйственного производства без крупных перерабатывающих предприятий. Его площадь – 3600 км², степень залесенности – 20%. Существенных изменений состава и качества пресных ПВ в верхней части разреза, на уровне уржумских и казанских отложений, за 35–40 лет в этом районе не произошло. Некоторое увеличение содержания нитрат-иона и, иногда, общей жесткости (редко превышающих ПДК для питьевых вод) в отдельных крупных деревнях и поселках сопровождается значительным – до 10 раз – снижением значений этих параметров в водопрооявлениях заброшенных населенных пунктов. Статистически значимые различия выявляются лишь для содержания хлоридов. Их концентрации практически повсеместно возросли в 1,2–3,3 раза (с 3–35, в основном 7–10 мг/дм³, до 4–75, при преобладании значений более 10–15 мг/дм³), причем наиболее активно это увеличение проявлено на лесных участках или при значительном развитии на водосборных площадях лесных массивов.

Это явление может быть связано с влиянием атмосферных осадков, минерализация которых (доля Cl-иона – до 10–15%) постепенно возрастает и в настоящее время по РТ составляет 30–70 (в отдельных случаях – 330–1500) мг/дм³ [4, 11]. Более интенсивное концентрирование хлоридов в грунтовых водах под лесными участками связано с известной способностью крон деревьев «минерализовать» дождевую воду [3]. Источником же хлоридов, скорее всего, являются крупные предприятия химической промышленности, расположенные в окрестностях Казани (Оргсинтез) и Нижнекамска (Нижнекамскнефтехим, Нижнекамскшина), соответственно, западнее и восточнее рассматриваемой площади, преобладающие ветра в пределах которой отличаются именно такими направлениями.

Предволжский регион РТ представляет собой яркий пример интенсивного земледелия в средней полосе европейской России. Он отличается хорошей гидрогеологической изученностью, а также постоянным агротехническим

и агрохимическим мониторингом, проводимым государственным центром агрохимической службы «Татарский» [10, 11]. Регион имеет площадь порядка 10 тыс. км² и характеризуется отсутствием нефтяных и другого типа крупных месторождений, крупных промышленных предприятий. Численность населения здесь составляет около 185 тыс. человек, доля пашни в структуре земельных угодий – 60%, степень залесенности – 12,5% [4].

Гидрогеологическую модель верхней части разреза Предволжского региона можно представить в виде двухслойной толщи, осложненной на локальных участках линейными зонами плиоцен-четвертичных врезов. Верхняя часть этой толщи на большей части площади региона соответствует карбонатно-терригенным образованиям северодвинского и уржумского ярусов, характеризующихся незакономерным чередованием в разрезе слабо выдержанных по латерали прослоев с резко варьирующей водопроницаемостью; в южной части региона роль верхнего слоя играют мезозойские отложения, отличающиеся резким преобладанием в своем составе глин. Нижняя часть толщи представлена высокопроницаемыми трещиноватыми латерально выдержанными пачками сульфатно-карбонатных пород казанского яруса.

Химические составы ПВ северодвинских и уржумских отложений и поверхностных вод небольших водотоков в Предволжском регионе, вне пределов населенных пунктов, практически идентичны. Это HCO_3/Ca или $\text{HCO}_3/\text{Mg}-\text{Ca}$ воды с минерализацией, преимущественно, – 0,25–0,4 г/дм³, качество которых соответствует питьевому. Формирование состава этих вод связано с процессами углекислотного выщелачивания карбонатно-терригенных пород. В поле развития мезозоид гидрогеохимическая обстановка более сложная, что определяется лишь спорадическим развитием маломощных коллекторов подземных вод в глинистом матриксе. Нечасто встречающиеся родники обычно характеризуются питьевой водой $\text{HCO}_3/\text{Mg}-\text{Ca}$ состава с минерализацией до 0,6–0,8 г/дм³. Ниже уровня дрен минерализация этих вод довольно быстро возрастает до 1,2–2 г/дм³, что связано с затрудненностью водообмена. В пределах и окрестностях населенных пунктов как поверхностные, так и ПВ обычно отличаются сверхпредельными концентрациями нитратов, железа и значениями общей жесткости и перманганатной окисляемости, при этом их минерализация может достигать 2–3 г/дм³.

ПВ казанских отложений на уровне и несколько выше НПУ водоохранилища отличаются HCO_3 и $\text{SO}_4-\text{HCO}_3/\text{Mg}-\text{Ca}$ составом с ми-

нерализацией 0,5–0,8 г/дм³ и, преимущественно, питьевым качеством, в более нижней части разреза они сульфатные с общим содержанием до 3 г/дм³. Основной гидрогеохимический процесс, определяющий формирование состава этих вод, – выщелачивание и растворение карбонатных и сульфатных пород. Процессы загрязнения вод казанского водоносного комплекса также ярко проявляются лишь на отдельных участках его приповерхностного залегания.

Таким образом, формирование состава ПВ на большей части Предволжского региона Татарстана определяется природными факторами и процессами, и основной их объем в верхней части разреза обладает питьевым качеством. На это качество не влияет практически повсеместное использование удобрений, средняя интенсивность внесения которых в последнее время варьирует по административным районам региона в следующих пределах: минеральные удобрения (действующие вещества – азот, фосфор, калий) – 11,8–20 кг/га·год; органические (навоз) – 0,6–1 т/га·год. Вообще с 1976 г. по 2004 г. на посевные площади региона было внесено ~12 млн т органических удобрений и ~0,24 млн т действующего вещества минеральных удобрений, наиболее активно они применялись в 1986–1995 гг. [9]. Одним из подтверждений отсутствия негативного влияния используемых удобрений на качество грунтовых вод могут служить данные *табл.* (связь между параметрами состава ПВ и удобрений определялась по анализу соответствующих данных по 24 водосборным бассейнам, выделенным в Предволжском регионе). Среди показателей химического состава ПВ значимо коррелирует с параметрами, отражающими интенсивность внесения удобрений, лишь перманганатная окисляемость, но пока ее значение нигде не превышает ПДК для вод питьевого качества.

По данным мониторинга, проводимого в северной части Предволжья в летние периоды последних 10 лет, существенного изменения состава природных (поверхностных и подземных) вод не отмечается. Такое изменение не выявлено и при обработке обширного гидрогеохимического материала по верхней части гидрогеосферы всего региона во временном интервале 1950–2000-х гг. [10].

Таким образом, характер и степень изменения состава (качества) ПВ верхней части разреза определяются соотношением и спецификой различных природных и техногенных факторов и процессов. На данный момент резко негативные гидрогеоэкологические изменения в пределах Татарстана проявлены лишь в отдельных областях интенсивного техногенного воздейст-

Корреляционные связи показателей состава грунтовых вод с параметрами удобрений

Таблица

Показатели состава грунтовых вод	Параметры удобрений			
	общая масса, внесенная за 29 лет (т/км ²)		интенсивность внесения (т/км ² *год)	
	минеральные	органические	минеральные	органические
Жесткость	0,15	0,04	0,13	-0,04
pH	-0,08	-0,17	-0,11	-0,29
Минерализация	0,06	-0,06	0,19	-0,09
HCO ₃ ⁻	0,15	0,04	0,23	-0,01
Cl ⁻	-0,09	-0,01	-0,01	0,11
SO ₄ ²⁻	-0,05	-0,11	-0,06	-0,19
NO ₃ ⁻	-0,19	-0,22	-0,01	-0,04
NO ₂ ⁻	-0,27	-0,27	-0,07	-0,18
Ca ²⁺	0,04	-0,09	0,04	-0,09
Mg ²⁺	0,14	0,15	0,1	0,06
(Na+K) ⁺	-0,12	-0,10	0,07	-0,08
NH ₄ ⁺	-0,03	-0,14	0,13	-0,09
SiO ₂	-0,01	-0,11	0,17	-0,03
Окисляемость	0,12	0,11	0,43	0,45

Примечание. Полу жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты парной корреляции

вия, за пределами которых основной объем ПВ обычно характеризуется благоприятным питьевым качеством. Это связано как с кризисными явлениями в экономике, так и с высокой буферной емкостью почв и пород зоны аэрации, основной объем которых отличается повышенной карбонатностью и глинистостью. Негативное влияние загрязнения атмосферы, которое характеризуется глобальным масштабом распространения, на качество грунтовых вод в пределах РТ практически не сказывается, не считая отдельных локальных зон слабого концентрирования некоторых компонентов (например, хлоридов).

Выделение областей с различными особенностями изменения во времени состава ПВ необходимо для рационального природопользования и экологически сбалансированного экономического развития – научно обоснованного размещения новых промышленных объектов, полигонов складирования и захоронения разнотипных отходов, принятия решений о проведении мероприятий по защите ПВ от загрязнения, оптимального размещения водозаборных скважин, рационального проведения крупномасштабных поисково-разведочных работ на ПВ питьевого качества и т.д. **■**

Литература

1. Геологические памятники природы Республики Татарстан. Казань. 2007. 296 с.
2. Гидрогеоэкологические исследования в нефтедобывающих районах РТ. Казань. 2007. 300 с.
3. Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. Л. 1987. 248 с.
4. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2005 г. Казань. 2006. 494 с.
5. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С., Рейф И.Е. Перед главным вызовом цивилизации. Взгляд из России. М. 2009. 224 с.
6. Зекцер И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. М. 2001. 328 с.
7. Мусин Р.Х. О гидрогеоэкологических особенностях и проблемах нефтяного региона Татарстана // Изв. вузов. Геология и разведка. 2012. № 2. С. 48–53.
8. Мусин Р.Х., Мусина Р.З. Гидрогеологические исследования в нефтяном регионе Татарстана // Нефть. Газ. Новации. 2009. № 9. С. 28–38.
9. Мусин Р.Х., Нуриев И.С. Влияние сельскохозяйственных удобрений на качество грунтовых вод // Ученые записки Казанского гос. ун-та. Серия Естественные науки. 2009. Т. 151. Кн. 3. С. 136–142.
10. Нуриев И.С. Особенности формирования химического состава подземных вод зоны активного водообмена юго-запада Татарстана: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Пермь, 2010. 23 с.
11. Нуриев И.С., Мусин Р.Х. Ресурсы и условия формирования состава пресных подземных вод в Предволжском регионе Татарстана: Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Часть 1: Водохозяйственные проблемы. Оренбург–Пермь. 2008. С. 239–244.
12. Сунгатуллин Р.Х. Комплексный анализ геологической среды (на примере Нижнекамской площади). Казань. 2001. 140 с.