

# Техногенный метаморфизм сеноманских вод (на примере Уренгойского НГКМ)

Г.В. Торопов

м.н.с.<sup>1</sup>

ToropovGV@tngg.ru

<sup>1</sup>ООО «ТюменНИИгипрогаз», Тюмень, Россия

**Все природные воды Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона подвержены техногенному воздействию, сеноманские воды в том числе. Под воздействием техногенеза происходит изменение гидрогеологических условий, трансформация химического состава подземных вод и формирование техногенных гидрогеологических систем. В статье отражены результаты исследований, посвященных техногенному метаморфизму сеноманских вод на участках закачки сточных вод.**

## Материалы и методы

Используются результаты более чем 2500 проб жидкости, отобранных из разведочных, пьезометрических, наблюдательных, нагнетательных и эксплуатационных скважин в период с 1987 по 2014 гг. Результаты исследований проанализированы и обработаны методами математической статистики.

## Ключевые слова

сеноманские воды, техногенез, техногенный метаморфизм, Уренгойское НГКМ, загрязнение

Несмотря на актуальность проблемы, такое воздействие изучается лишь в приповерхностных слоях геологической среды, затрагивая неглубокозалегающие водоносные горизонты и почвенный покров. Вопрос о техногенном воздействии на глубокозалегающие водоносные комплексы (юрские, неоккомские, апт-альб-сеноманские) чаще носит дискуссионный характер.

Крупные месторождения, открытые в прошлом веке на территории Западной Сибири, обеспечивающие в последние десятилетия основные объемы по добыче нефти и газа, входят в завершающие стадии разработки, что сопровождается резким ростом обводненности добываемой продукции. В продуктивные пласты закачивается колоссальный объем вод различного качества для поддержания пластового давления: попутно-добываемых и технологических (в т. ч. сточных) вод, различных физико-химических агентов для восстановления приемистости призабойной зоны пласта и агентов повышения нефтеотдачи. Только за последние 20 лет в недра Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона, куда входит исследуемый участок, было закачано более 1,6 млрд м<sup>3</sup> воды [1, 2]. Это приводит к нарушениям природных условий и нарушению сложившегося экологического равновесия. Происходит формирование так называемых «техногенных гидрогеологических систем» (ТГГС).

По В. М. Матусевичу [3] под ТГГС понимается «участок гидролитосферы, где под влиянием хозяйственной деятельности формируются специфические гидрогеологические условия, характеризующиеся устойчивыми или постоянно меняющимися полями гидрогеохимических, гидродинамических, гидрогеотермических параметров, существенно отличающихся от их природных (фоновых) значений».

Территория Уренгойского НГКМ не является исключением. Рассмотрим участки закачки сточных вод, на которых через поглощающие скважины в апт-альб-сеноманский водоносный горизонт закачиваются попутно-добываемые и технологические воды. Усредненный химический состав таких вод представлен в таб. 1. Наименование контролируемых показателей измеряется в мг/дм<sup>3</sup>.

Закачиваемые воды представляют собой смесь из ливневых, попутно-добываемых и технологических вод. Под технологическими водами подразумевается смесь хозяйственно-бытовых вод и вод, образующихся при производственных процессах на УКПГ, ДКС и т. д.

Закачиваемые сточные воды характеризуются хлоридно-кальциевым составом (по Сулину), средняя минерализация 2,5 г/дм<sup>3</sup>. Температура закачиваемых вод изменяется от 12 до 28°C, однако в большинстве случаев она равна 17–18°C. Плотность вод изменяется от 0,917 до 1,011 г/см<sup>3</sup>. В 90% случаев воды безсульфатные, максимальные

определенные концентрации достигали 40 мг/дм<sup>3</sup> [2].

Особое внимание в сточных водах стоит уделить метанолу, используемому в качестве растворителя. Содержание метанола в среднем 13,5 г/дм<sup>3</sup>, максимальные концентрации могут достигать 90 г/дм<sup>3</sup>. Содержание диэтиленгликоля (ДЭГ) достигает 415 мг/дм<sup>3</sup>, при среднем содержании 116,7 мг/дм<sup>3</sup> [4].

В закачиваемых водах встречаются кобальт (до 0,017 мг/дм<sup>3</sup>), кадмий (до 0,0757 мг/дм<sup>3</sup>), никель (до 0,031 мг/дм<sup>3</sup>), медь (до 0,44 мг/дм<sup>3</sup>) и кремний (до 4,54 мг/дм<sup>3</sup>) [4].

Содержание фенолов всегда ниже предела определения, нефтепродукты имеют концентрации до 23,2 мг/дм<sup>3</sup> (средняя 3,6 мг/дм<sup>3</sup>). Показатель химического потребления кислорода, как правило, больше 400 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

При закачке сточных вод в апт-альб-сеноманский водоносный комплекс происходит не просто смешение вод между собой, с последующим разбавлением более минерализованных менее минерализованными, а направленное изменение их химического состава и свойств под воздействием комплекса техногенных и природных факторов в результате физико-химических и биохимических процессов преобразования и обмена миграционных форм ингредиентов в системе «вода-порода-техногенный осадок» [2]. Речь идет именно о техногенной метаморфизации вод, поскольку загрязнение вод — обратимое понижение качества вод в результате попадания различных поллютантов (физических, химических или биологических) в водную среду. Таким образом, при закачке сточных вод в апт-альб-сеноманском водоносном комплексе происходит формирование локальных техногенных гидрогеологических систем благодаря процессам не только смешения, но и техногенной метаморфизацией подземных вод.

На Уренгойском месторождении закачка попутно-добываемых и технологических сточных вод в сеноманский горизонт ведется с 1979 г. На месторождении эксплуатируется самый крупный в отрасли специализированный полигон захоронения. По состоянию на 2010 г. было закачано более 21 млн м<sup>3</sup> сточных вод, а до 2026 г. в общем объеме планируется закачать еще 21,8 млн м<sup>3</sup>, со средней суммарной производительностью 3,5 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Закачка осуществляется на базе 45 поглощающих скважин, размещенных на 20 участках закачки. Именно участки закачки сточных вод являются основным источником загрязнения [2, 4].

Автором произведена оценка техногенной метаморфизации сеноманских вод с использованием статистических методов анализа. Построена природная гидрохимическая модель сеноманских вод, в основу которой лег макрокомпонентный химический состав и ряд интегральных характеристик. Все используемые параметры имеют

|                            |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|--------|---------|--------|---------|----------|---------|-------|-------|--------|-------|
| Медь                       | 0,04     | 0,04     | 0,06     | 0,08     | 0,09     | 0,30    | 0,09     | 0,10     | 0,17   | 0,04    | 0,03   | 0,04    | 0,03     | 0,04    | 0,05  |       |        |       |
| Кальций                    | 24,21    | 24,21    | 18,24    | 61,70    | 82,70    | 24,03   | 48,52    | 26,27    | 51,98  | 285,72  | 22,95  | 44,84   | 51,48    | 71,34   | 9,54  |       |        |       |
| Магний                     | 13,36    | 13,36    | 3,98     | 4,73     | 4,61     | 7,26    | 5,12     | 6,97     | 2,42   | 52,60   | 4,58   | 20,79   | 13,03    | 27,14   | 3,56  |       |        |       |
| Натрий                     | 727,93   | 727,93   | 140,19   | 382,49   | 148,36   | 132,86  | 742,47   | 151,36   | 28,30  | 3740,69 | 232,83 | 932,89  | 862,07   | 1569,39 | 19,28 |       |        |       |
| Аммоний ион                | 3,36     | 3,36     | 2,27     | 4,17     | 12,64    | 2,54    | 4,52     | 0,82     | 6,45   | 4,55    | 2,12   | 2,46    | 3,67     | 5,44    | 0,49  |       |        |       |
| Марганец                   | 0,64     | 0,64     | 1,35     | 0,57     | 0,54     | 0,95    | 0,96     | 1,26     | 4,78   | 1,61    | 2,19   | 0,66    | 1,20     | 0,44    | 0,49  |       |        |       |
| Железо общее               | 2,74     | 2,74     | 47,96    | 3,67     | 42,90    | 32,49   | 7,41     | 61,35    | 35,44  | 5,81    | 53,90  | 7,43    | 22,07    | 11,72   | 10,14 |       |        |       |
| Гидрокарбонаты             | 185,11   | 185,11   | 113,83   | 197,97   | 95,02    | 83,81   | 399,75   | 133,25   | 93,09  | 465,40  | 126,27 | 124,95  | 276,40   | 91,91   | 50,61 |       |        |       |
| Фосфат-ион                 | 0,06     | 0,06     | 0,26     | 0,24     | 2,82     | 0,56    | 0,51     | 0,10     | 0,18   | 0,65    | 0,39   | 0,07    | 0,38     | 0,66    | 0,14  |       |        |       |
| Ион бора                   | 1,80     | 1,80     | 0,84     | 2,07     | 0,99     | 0,46    | 5,16     | 0,73     | 0,76   | 3,69    | 1,09   | 1,49    | 2,23     | 1,93    | 0,22  |       |        |       |
| Бромид-ион                 | 5,25     | 5,25     | 1,04     | 3,19     | 1,47     | 0,87    | 4,59     | 18,57    | 0,17   | 25,46   | 1,71   | 6,20    | 5,62     | 11,91   | 0,07  |       |        |       |
| Фториды                    | 0,31     | 0,31     | 1,49     | 0,63     | 0,36     | 0,09    | 0,67     | 0,13     | 0,09   | 1,36    | 0,15   | 0,24    | 0,30     | 0,37    | 0,10  |       |        |       |
| Нитрит-ион                 | 1,61     | 1,61     | 0,05     | 0,02     | 0,02     | 0,27    | 0,30     | 0,14     | 0,05   | 3,78    | 0,11   | 0,11    | 0,39     | 0,03    | 0,05  |       |        |       |
| Нитрат-ион                 | 0,64     | 0,64     | 0,19     | 0,25     | 0,16     | 1,19    | 0,23     | 0,24     | 0,14   | 0,59    | 0,17   | 0,25    | 0,25     | 0,52    | 0,17  |       |        |       |
| Хлорид-ион                 | 1305,80  | 1305,80  | 353,38   | 635,71   | 379,91   | 229,51  | 1033,72  | 425,07   | 104,95 | 5315,73 | 341,58 | 1706,27 | 1190,83  | 2837,82 | 29,13 |       |        |       |
| Н/продукты                 | 2,27     | 2,27     | 5,49     | 6,71     | 2,67     | 3,96    | 2,79     | 7,38     | 2,45   | 5,54    | 4,51   | 2,03    | 1,84     | 2,51    | 4,87  |       |        |       |
| ДЭГ                        | 366,05   | 366,05   | 169,60   | 246,77   | 72,06    | 34,63   | 171,72   | 237,06   | 47,76  | 36,56   | 25,02  | 97,80   | 145,04   | 45,64   | 0,23  |       |        |       |
| Метанол                    | 59542,45 | 59542,45 | 14125,19 | 15243,86 | 10206,34 | 7691,73 | 52611,03 | 21187,79 | 724,67 | 1168,28 | 540,41 | 6017,98 | 23537,17 | 2555,24 | 53,65 |       |        |       |
| Раств. кислород            | 1,26     | 1,26     | 1,97     | 1,54     | 1,40     | 2,35    | 7,67     | 2,99     | 4,52   | 1,74    | 1,41   | 1,30    | 1,44     | 1,44    | 2,06  |       |        |       |
| АПАВ                       | 0,26     | 0,26     | 0,41     | 0,37     | 0,20     | 0,12    | 0,14     | 0,21     | 0,13   | 0,27    | 0,20   | 0,28    | 0,33     | 0,33    | 0,32  |       |        |       |
| Взв. в-ва                  | 17,26    | 17,26    | 17,75    | 17,35    | 18,76    | 16,57   | 17,91    | 16,56    | 16,19  | 18,55   | 17,92  | 16,23   | 17,88    | 16,56   | 5,35  |       |        |       |
| pH, ед. pH                 | 6,65     | 6,65     | 5,36     | 7,02     | 5,71     | 5,65    | 6,11     | 5,07     | 5,64   | 6,98    | 5,44   | 5,83    | 6,10     | 6,21    | 6,56  |       |        |       |
| Наим-е объекта             | ГКП-1А   | ГП-1     | ГКП-2    | ГП-3     | ГП-4     | ГКП-5   | ГП-6     | ГП-7     | ГКП-8  | ГП-9    | ГП-10  | ГКП-11  | ГП-12    | ГП-13   | ГП-15 | ГП-16 | ГКП-22 | УГНИИ |
| Гидрохимический показатель |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
| pH                         |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
| Общая жесткость            |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
| Минерализация              |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
| Cl                         |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
| SO <sub>4</sub>            |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
| Коэффициент вариации       |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
| Гидрохимический показатель |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
| HCO <sub>3</sub>           |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
| Ca                         |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
| Mg                         |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
| Na                         |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
| Коэффициент вариации       |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
| 20                         |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
| 213                        |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
| 108                        |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
| 132                        |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |
| 258                        |          |          |          |          |          |         |          |          |        |         |        |         |          |         |       |       |        |       |

Таб. 2 — Средние коэффициенты вариации по показателям, используемым в гидрохимической модели для сеноманских вод

свойства непрерывных признаков во времени. Модель включила в себя следующие показатели: водородный показатель pH, минерализацию, общую жесткость, концентрации основных катионов (натрий и калий, кальций, магний) и анионов (гидрокарбонаты, сульфаты и хлориды).

Для всех рассмотренных величин характерен логнормальный закон распределения с левоасимметричным или центральносимметричным распределением. Одномерные статистические выборки сформированы по вышеперечисленным показателям, а внутри каждой совокупности было выделено пять временных интервалов (1980–1990, 1990–2000, 2000–2005, 2005–2010, 2010–2014). При этом в рамках каждого интервала выборка представлена с максимальной возможностью покрытия территории Уренгойского месторождения.

Выборка представлена более чем 2500 проб жидкости, отобранных из разведочных, пьезометрических, наблюдательных, нагнетательных и эксплуатационных скважин в период с 1987 по 2014 г. сотрудниками лаборатории гидрогеологии и экологии водной среды ООО «ТюменНИИгипрогаз», сотрудниками компаний «Газпром добыча Уренгой», ВНИИГАЗ и др. Крайние значения показателей в каждой выборке исключались.

Выборки были упорядочены и сгруппированы по временным интервалам, также были построены вариационные ряды и соответствующие им графики частотного распределения.

Определение основных статистических показателей позволило получить более гладкое распределение анализируемых величин, доказывая их однотипность по природным гидрогеологическим условиям формирования химического состава.

Для каждого показателя был рассчитан коэффициент вариации, он применяется для сравнений колеблемости одного и того же признака в нескольких совокупностях с различным средним арифметическим. Результаты расчета приведены в таб. 2. Среди гидрохимических одномерных выборок наибольшим разбросом значений характеризуются сульфаты, кальций и общая жесткость.

Практически все построенные вариационные кривые имеют островершинную форму с левосторонней асимметрией, реже правосторонней. В качестве фоновых показателей для каждого периода времени принимались модальные значения. На графиках прослеживается изменение химического состава вод от периода к периоду.

Повышение в правой части эмпирических графиков, представленное определенной частью выборки с аномально высокими гидрохимическими показателями, либо выполаживание графика, характеризуется как места проявления локальной техногенной метаморфизации химического состава вод под воздействием локального антропогенного воздействия. Такие воды автором рассматриваются как техногенно измененные.

Для оценки динамики интенсивности техногенного воздействия было произведено сравнение вариационных кривых на разных временных интервалах (рис. 1–6).

Анализ модальных значений концентрации хлора показывает снижение его содержания в сеноманских водах с 11 до 10 г/дм<sup>3</sup>, при этом наблюдается рост концентрации

Таб. 1 — Средние гидрохимические показатели проб сточных вод, отобранных перед закачкой в пласт

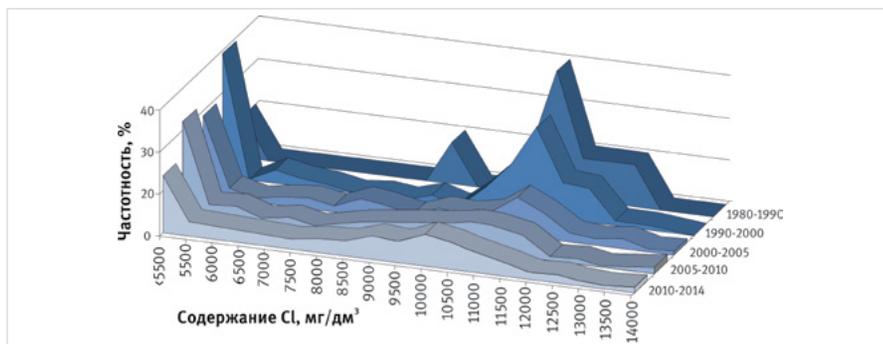


Рис. 1 — График частотности содержания иона хлора в сеноманских водах

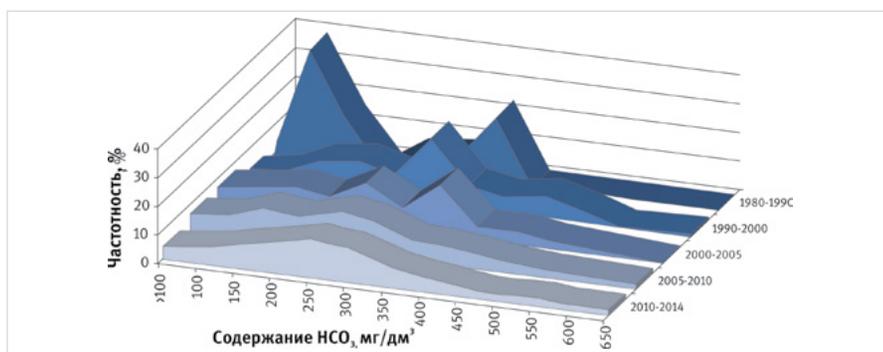


Рис. 2 — График частотности содержания гидрокарбонат иона в сеноманских водах

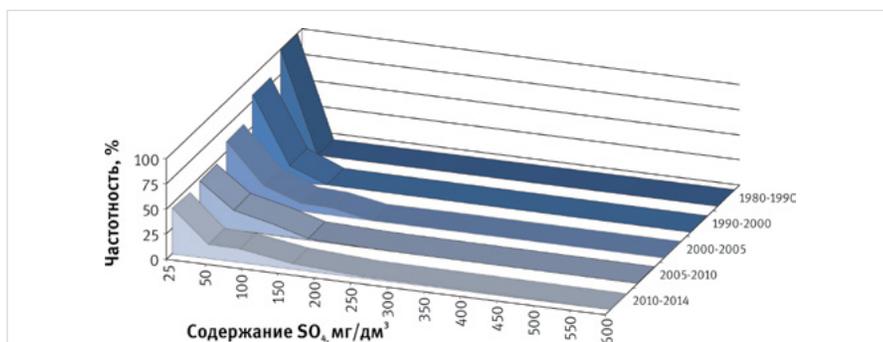


Рис. 3 — График частотности содержания сульфат иона в сеноманских водах

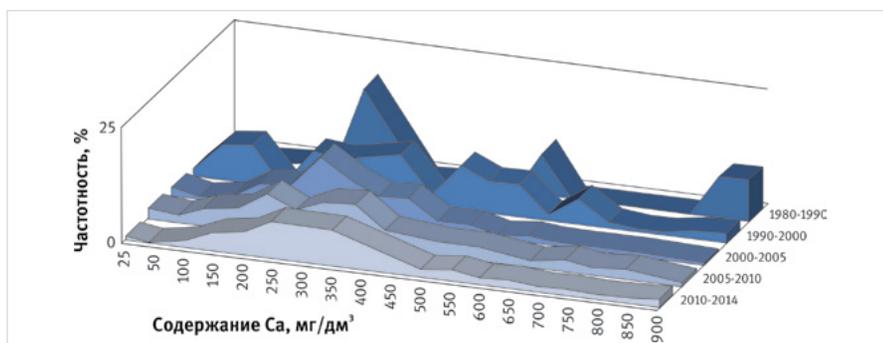


Рис. 4 — График частотности содержания иона кальция в сеноманских водах

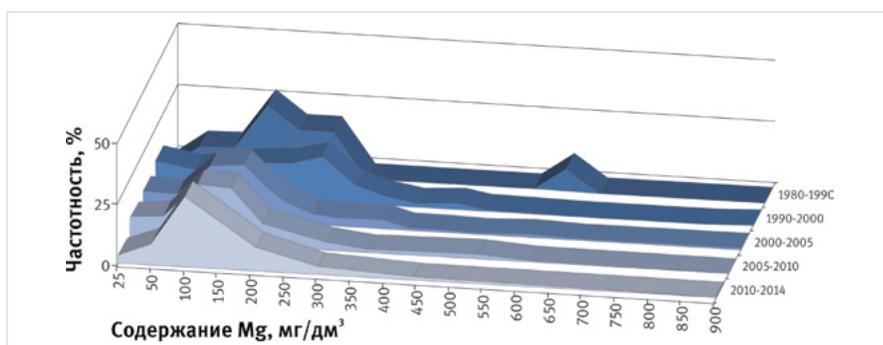


Рис. 5 — График частотности содержания иона магния в сеноманских водах

гидрокарбонат-иона и сульфат иона. Содержание кальция в сеноманских водах увеличивается, концентрации магния и натрия, наоборот, снижаются.

Наиболее ярко ситуацию с изменением состава сеноманских вод отражает частотный график минерализации сеноманских вод (рис. 7).

График частотности по минерализации сеноманских вод выполаживается, если в начальный период эксплуатации сеноманского пласта-коллектора минерализация сеноманских вод почти во всех пробах изменялась в диапазоне 17,5–20,0 г/дм³, то за более чем 30-летний период граница между крайними значениями стала размытой, и сейчас при отборе проб сеноманских вод на участках закачки минерализация изменяется от 14 до 20 г/дм³, с наиболее часто встречаемыми значениями в 16,5–17,0 г/дм³.

Наблюдаемое смещение значений в правую или левую сторону на частотных графиках связано с ростом и снижением абсолютных значений гидрохимических показателей по выборке. Учитывая заложенное в модели постоянство природных факторов, увеличение (уменьшение) содержания компонентов следует рассматривать как изменение химического состава благодаря процессам смешения и техногенной метаморфизации.

Изменение медианных значений гидрохимических показателей является проявлением локального загрязнения природных вод и выражается в формировании нового локального гидрогеохимического фона. Изменение формы вариационной кривой и рост среднеарифметических значений, связанные с увеличением доли техногенно-измененных вод в одномерных выборках, классифицируются автором как трансформация химического состава в результате локальных факторов техногенного воздействия.

Среднеарифметические значения вариационных рядов в большинстве случаев превышают модальные, это же касается интенсивности локального техногенного метаморфизма, который выше регионального. За рассматриваемый промежуток времени средние значения по выборке изменились практически по всем показателям (рис. 1–6), что доказывает факт загрязнения вод и отражает степень техногенной метаморфизации химического состава.

Учитывая вышеизложенное, по медианным значениям показателей автором определен локальный гидрогеохимический фон сеноманских вод Уренгойского месторождения вокруг участков закачки сточных вод, соответствующий каждому из выбранных временных интервалов стохастического моделирования и обусловленный региональными факторами как природного, так и техногенного генезиса. Ареалы сеноманских вод, подверженных техногенной метаморфизации, представлены в таб. 3.

Расчетная суммарная площадь загрязнения сеноманских вод к 2006 г. составляла 1 277 тыс. м², а к 2026 г. — 2 320 тыс. м². За 20 лет площадь загрязнения вырастет в 1,8 раз.

Оценка степени метаморфизации вод проводилась по двум методикам: по В. А. Сулину [6] и Ф. И. Тютюновой [2].

Классификация Сулина широко применяется в нефтегазовой гидрогеологии для определения генетического типа вод, для оценки

направленности метаморфизации были использованы выведенные им коэффициенты (таб. 4).

Поскольку содержание Na и Cl в результате закачки сточных вод уменьшается, а содержание  $SO_4$  и  $HCO_3$  незначительно вырастает, происходит изменение сульфатно-натриевого типа на гидрокарбонатно-натриевый.

Для количественной оценки специфики формирования загрязненных подземных вод использовались коэффициенты их техногенной метаморфизации, выведенные Ф. И. Тютюновой [2]:

- $K_1 = ([CO_3] + [HCO_3]) / [SO_4]$  — Карбонатный тип;
- $K_2 = [SO_4] / ([HCO_3] + [Cl])$  — Сульфатный тип;
- $K_3 = [Cl] / ([HCO_3] + [SO_4])$  — Хлоридный тип.
- $K_4 = ([Ca] + [Mg]) / [Na]$  — выражает изменение химической группы вод.

| Период наблюдений | $rNa^+ - rCl^-$<br>$rSO_4^{2-}$ | $rCl^- - rNa^+$<br>$rMg^{2+}$ |
|-------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 1980-1990         | -190,0455                       | 2,3747                        |
| 1990-2000         | -146,1774                       | 2,2631                        |
| 2000-2005         | -57,1575                        | 3,4866                        |
| 2005-2010         | -44,5549                        | 3,5732                        |
| 2010-2014         | -48,6671                        | 4,3561                        |

Таб. 4 — Результаты расчета коэффициентов по В. А. Сулину

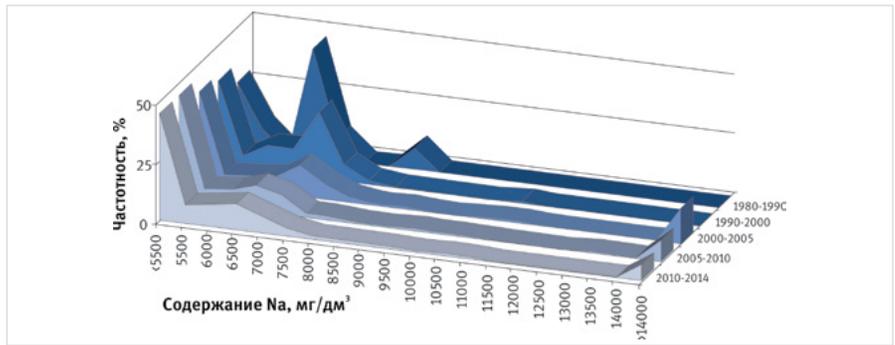


Рис. 6 — График частотности содержания иона натрия в сеноманских водах

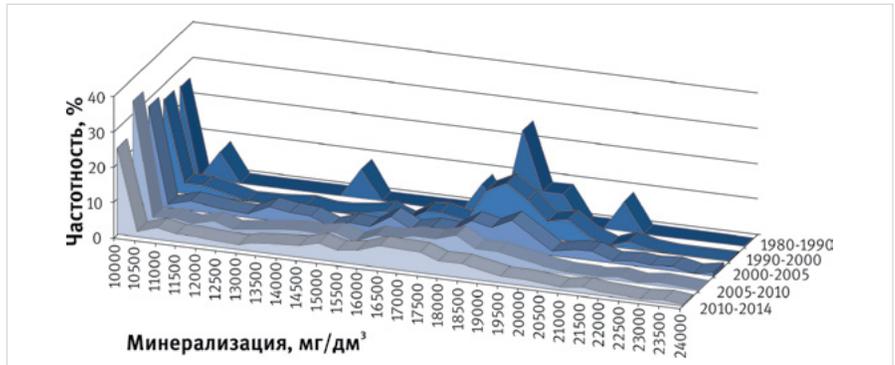


Рис. 7 — График частотности минерализации сеноманских вод

| Участки закачки сточных вод | Эффективная толщина пласта коллектора, м | Объем закачек жидких отходов по состоянию на 2006 г, тыс. м³ | Радиус растекания с учетом коэф. запаса по состоянию на 2006 г, м | Площадь распространения сточных вод по состоянию на 2006 г, м² | Объем закаченных жидких отходов по состоянию на 2026 г, тыс. м³ | Радиус растекания с учетом коэф. запаса по состоянию на 2026 г, м | Площадь распространения сточных вод по состоянию на 2026 г, м² |
|-----------------------------|--|--|---|--|---|---|--|
| УКПГ-1А                     | 118                                      | 1695   | 185   | 107466,5   | 3180  | 241   | 182374,34  |
| УКПГ-1                      | 139                                      | 1074   | 138   | 59798,16   | 2000  | 175   | 96162,5  |
| УКПГ-2                      | 114                                      | 1371   | 170   | 90746  | 2720  | 204   | 130674,24  |
| УКПГ-3                      | 165                                      | 860  | 111   | 38687,94   | 1700  | 149   | 69711,14   |
| УКПГ-4                      | 224                                      | 867  | 96  | 28938,24   | 1840  | 135   | 57226,5  |
| УКПГ-5                      | 129                                      | 1353   | 157   | 77397,86   | 2830  | 199   | 124347,14  |
| УКПГ-6                      | 135                                      | 737  | 114   | 40807,44   | 1470  | 145   | 66018,5  |
| УКПГ-7                      | 152                                      | 1022   | 126   | 49850,64   | 2060  | 183   | 105155,46  |
| УКПГ-8                      | 146                                      | 1044   | 131   | 53885,54   | 2310  | 180   | 101736   |
| УКПГ-9                      | 143                                      | 948  | 126   | 49850,64   | 1770  | 163   | 83426,66   |
| УКПГ-10                     | 114                                      | 1241   | 161   | 81391,94   | 2420  | 189   | 112163,94  |
| УКПГ-11                     | 154                                      | 1408   | 147   | 67852,26   | 3030  | 204   | 130674,24  |
| УКПГ-12                     | 138                                      | 1050   | 135   | 57226,5  | 2750  | 202   | 128124,56  |
| УКПГ-13                     | 141                                      | 980  | 129   | 52252,74   | 2410  | 189   | 112163,94  |
| УКПГ-15                     | 131                                      | 1349   | 157   | 77397,86   | 3430  | 239   | 179359,94  |
| УТНИИ                       | 151                                      | 656  | 102   | 32668,56   | 1360  | 139   | 60667,94   |
| УПКТ                        | 128                                      | 4829   | 300   | 282600   | 10820   | 402   | 507436,56  |
| ЦПС-1                       | 175                                      | 242  | 57  | 10201,86   | 850   | 91  | 26002,34   |
| ЦПС-2                       | 131                                      | 312  | 75  | 17662,5  | 1312  | 123   | 47505,06   |

Таб. 3 — Расчетные радиусы растекания закаченных сточных вод

| Период наблюдений | $K_1$ | $K_2$  | $K_3$  | $K_4$ | Период наблюдений | Cl     | $HCO_3$ | $SO_4$ | Ca    | Mg    | Na     |
|-------------------|-------|--------|--------|-------|-------------------|--------|---------|--------|-------|-------|--------|
| 1980-1990         | 12,36 | 0,0006 | 120,64 | 0,22  | 1980-1990         | 302,43 | 2,32    | 0,19   | 44,00 | 15,01 | 266,78 |
| 1990-2000         | 20,74 | 0,0007 | 61,80  | 0,12  | 1990-2000         | 291,41 | 4,50    | 0,22   | 16,34 | 14,01 | 259,70 |
| 2000-2005         | 6,95  | 0,0020 | 62,93  | 0,11  | 2000-2005         | 297,89 | 4,14    | 0,60   | 20,19 | 9,76  | 263,87 |
| 2005-2010         | 5,23  | 0,0028 | 56,55  | 0,13  | 2005-2010         | 269,38 | 4,00    | 0,77   | 21,39 | 9,54  | 235,29 |
| 2010-2014         | 4,99  | 0,0032 | 50,99  | 0,17  | 2010-2014         | 274,13 | 4,48    | 0,90   | 29,00 | 10,03 | 230,44 |

Таб. 5 — Расчет коэффициентов метаморфизации для сеноманских вод

Таб. 6 — Усредненный химический состав сеноманских вод (в мг-экв/дм³)

$K_1, K_2, K_3$  — отражают специфику формирования загрязненных подземных вод.

Стремление коэффициентов  $K_1, K_2, K_3$  к бесконечности указывает на накопление соответствующих элементов.

Коэффициенты  $K_1, K_2, K_3$  отражают специфику формирования загрязненных подземных вод карбонатного, сульфатного и хлоридного типов. При накоплении в водах соды, сульфатов и хлоридов коэффициенты стремятся к бесконечности. При формировании загрязнения группы натриевых вод —  $K_4$  стремится к нулю, группы кальциево-магниевого вод  $K_4$  стремится к бесконечности.

Результаты расчетов отражены в таб. 5, расчет производился по медианным значениям в мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Выполненные расчеты показывают, что хлориды уменьшают свое содержание в сеноманских водах, содержание гидрокарбонатов и сульфатов незначительно растет. Кальциево-магниевый тип вод сменяет натриевый. Это же подтверждается химическим составом вод, отобранных из пьезометрических и нагнетательных скважин, результаты представлены в таб. 6.

Приведенные выше расчеты отражают изменение химического состава

сеноманских вод в результате закачки сточных вод в пласт-коллектор.

#### Итоги

В статье проанализированы гидрохимические показатели проб сточных вод, приведены усредненные составы для всех участков закачки, приведена оценка интенсивности техногенного воздействия на сеноманские воды на участках закачки сточных вод посредством построения вариационных рядов для разных временных интервалов. Рассчитана площадь загрязнения сеноманских вод по состоянию на 2006 и 2026 годы. По двум методикам проведена оценка метаморфизации сеноманских вод на участках закачки.

#### Выводы

На Уренгойском НГКМ на участках закачки сточных вод в результате закачки происходит не просто разбавление соленых сеноманских вод до слабо-соленых, а именно направленное необратимое изменение химического состава, называемое техногенным метаморфизмом. Данный вывод обоснован оценкой степени метаморфизации сеноманских вод на участках закачки по двум количественным методикам и наглядно проиллюстрирован

приведенными химическими анализами сеноманских вод.

#### Список используемой литературы

1. Бешенцев В. А. Подземные воды Ямало-Ненецкого автономного округа. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 149 с.
2. Бешенцев В. А., Семенова Т. В. Павлова Е. И. Захоронение сточных вод на нефтегазопромыслах Севера Западной Сибири (на примере Ямало-ненецкого нефтегазодобывающего региона) // Известия высших учебных заведений. Нефть и Газ. 2014. № 5. С. 6–9.
3. Матусевич В. М., Ковяткина Л. А. Нефтегазовая гидрогеология. В 2 ч. Ч. II. Нефтегазовая гидрогеология Западно-Сибирского мегабассейна : учебное пособие. Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. 108 с.
4. Бешенцев В. А. К вопросу о возможности захоронения сточных вод в недра // Горные ведомости. 2014. № 11. С. 70–77.
5. Тютюнова Ф. И. Гидрогеохимия техногенеза. М.: Наука, 1987. 335 с.
6. Максимов В. М., Бабушкин В. Д. и др. Справочное руководство гидрогеолога. 3-е изд., перераб. и доп. Т.1. Л.: Недра, 1979. 512 с.

ENGLISH

GEOLOGY

## Technology-related metamorphism of the Cenomanian waters on the example of Urengoy oil and gas condensate field

UDC 504.06

#### Authors:

Gennady V. Toropov — junior researcher<sup>1</sup>; [ToropovGV@tngg.ru](mailto:ToropovGV@tngg.ru)

<sup>1</sup>LLC TyumenNIIgiprogas, Tyumen, Russian Federation

#### Abstract

All environmental waters of Yamalo-Nenets oil and gas production region, including Cenomanian waters are affected by man-induced impact. Alteration of hydrogeological conditions, transformation of the chemical composition of subsurface waters and formation of technology-related hydrogeological systems are caused by the influence of technogenesis. The results of surveys of man-induced metamorphism of the Cenomanian waters at the sites of sewage waters injection are provided in the paper.

#### Materials and methods

The results of more than 2500 fluid samples taken from the exploration, pressure

observation, monitoring, injection and operations wells within the period from 1987 till 2014 are used. The survey results are analyzed and handled with the method of mathematical statistics.

#### Results

The author analyzed hydro-chemical characteristics of sewage waters, gave average compositions for all the sites of water injection and assessed the degree of man-made impact on the Cenomanian waters at the sewage water injection sites by making variation series for various time intervals. There was calculated the area of contamination of the Cenomanian waters as of 2006 and for 2026. The author made assessment of metamorphization of the Cenomanian waters at the injection sites.

#### Conclusions

As a result of sewage waters injection at the sites of Urengoy oil and gas condensate field there took place not only dilution of salt Cenomanian waters to the light-salt but also irreversible change of the chemical composition called technology-related metamorphism. The conclusion is proved by the assessment of the degree of metamorphization of the Cenomanian waters at the injection sites with two assay procedures and were showed an examples chemical analysis Senomanian waters.

#### Keywords

Cenomanian waters, technogenesis, technology-related metamorphism, Urengoy oil and gas condensate field, pollution

#### References

1. Beshentsev V. A. *Podzemnye vody Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga* [Ground waters of Yamalo-Nenets Autonomous Okrug]. Yekaterinburg: Uro RAN, 2006, 149 p.
2. Beshentsev V. A., Semenova T. V. Pavlova E. I. *Zakhoroneniye stochnykh vod na neftegazopromyslakh Severa Zapadnoy Sibiri (na primere Yamalo-nenetskogo neftegazodobyvayushchego regiona)* [Disposal of sewage water in the oil and gas fields of West Siberia north (on the example of Yamalo-Nenets oil and gas production region)] *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i Gaz*, 2014, issue 5, pp. 6–9.
3. Matusevich V. M., Kovyatkina L. A. *Neftegazovaya gidrogeologiya. V 2 ch. Ch. II. Neftegazovaya gidrogeologiya Zapadno-Sibirskogo megabasseyna : uchebnoe posobie* [Petroleum Hydrogeology in 2 volumes. Vol. 2. Petroleum Hydrogeology of the West-Siberia mega basin: study guide]. Tyumen': *TjumGNGU*, 2010, 108 p.
4. Beshentsev V. A. *K voprosu o vozmozhnosti zakhoroneniya stochnykh vod v nedra* [Possibilities of sewage water disposal in subsurface resources]. *Gornye vedomosti*, 2014, issue 11, pp. 70–77.
5. Tyutyunova F. I. *Gidrogeokhimiya tekhnogeneza* [Hydrogeochemistry of technogenesis]. Moscow: *Nauka*, 1987, pp. 335.
6. Maksimov V. M., Babushkin V. D. i dr. *Spravochnoe rukovodstvo gidrogeologa* [Reference Manual for Hydrogeologist]. 3-d edition, revised and updated. Vol. 1. Leningrad: *Nedra*, 1979, 512 p.