

ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ВЫБОРА ПЛАСТА-АККУМУЛЯТОРА ДЛЯ ЗАХОРОНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ КАРАШУРСКОГО ПОДЗЕМНОГО ХРАНИЛИЩА ГАЗА

Изучены региональные факторы пригодности пластов-коллекторов Карашурского подземного хранилища газа для захоронения промышленных стоков. Определен наиболее благоприятный для захоронения промстоков пласт-коллектор – карбоновые отложения турнейского яруса. Отражены основные факторы, позволяющие рекомендовать турнейский ярус в качестве объекта для захоронения промстоков.

Ключевые слова: подземное хранение/хранилище газа, утилизация, захоронение промышленных стоков, циклическая эксплуатация, пласт-коллектор.

Создание подземных хранилищ газа (ПХГ), как и любого крупного промышленного объекта, требует решения целого ряда возникающих при этом экологических проблем. Одной из них является утилизация и захоронение промышленных стоков.

В отечественной и зарубежной практике сооружения подземных хранилищ газа промышленные стоки, как правило, закачивают обратно в пласты-коллекторы – объекты хранения газа. Подземное захоронение жидких отходов является наиболее рациональным способом поддержания и оздоровления экологической обстановки. Для этого выполняется достаточно большой объем исследовательских работ. Некоторые из них по своей сути совпадают с исследованиями, осуществляемыми при поисках перспективных объектов для хранения газа, и в этом случае задача значительно упрощается.

Если же стоки планируются по тем или иным причинам сбрасывать в другие водоносные пласты, то это потребует проведения специальных работ по полной программе.

К объектам для захоронения промстоков ПХГ предъявляются определенные требования (Гидрогеоэкологический контроль..., 2000; 2005). Во-первых, водоносный горизонт должен иметь высокую поглощающую способность и надежную природную изоляцию, оцениваемую отсутствием гидродинамической взаимосвязи с другими горизонтами. Во-вторых, захоронение промстоков производится в пласты, содержащие только минерализованные воды, не используемые на практике для водоснабжения. Известно, что в США нижний предел минерализации рекомендуется 10 г/л. В-третьих, крайне желательно выше пласта-аккумулятора промстоков иметь резервный буферный водоносный горизонт, способный аккумулировать возможные (по техническим причинам) утечки.

Необходимо также принять во внимание характер движения подземных вод, их скорость и направление. Известно, что глубокозалегающим горизонтам артезианских бассейнов присущи крайне низкие гидравлические градиенты. Это, практически, застойные зоны.

Важнейшим моментом при оценке возможностей для захоронения промстоков является также и знание региональных гидрогеологических условий формирования артезианских бассейнов.

В работе (Гидрогеологические исследования..., 1993) представлена схема распространения возможных коллекторов для захоронения сточных вод в артезианских бассейнах Восточно-европейской платформы. Для районов Удмуртии (г. Ижевск) в качестве перспективных установлены водоносные комплексы, стратиграфически приуроченные от D_3t-D_2 до $C_2b-D_3f_2$ (Гидрогеологические исследования..., 1993; Тектоника Вятско-Камского..., 1968). Башкирско-верхнефранский водоносный комплекс $C_2b-D_3f_2$ достаточно мощно развит на территориях Саратовской, Самарской областей, Татарии и Удмуртии. Региональным водупором в этом комплексе служат карбонатные и карбонатно-глинистые отложения тульского горизонта визейского яруса нижнего карбона, мощность которых изменяется от 20 до 170 м.

Рассматриваемый водоносный комплекс относится к зоне весьма затрудненного (застойного) режима и приурочен к нижней части осадочного чехла, подземный сток оценивается в масштабе геологического времени, влияние климатических факторов, как правило, обнаружить не удавалось. Для оценки скорости водообмена достаточно успешно применяется изучение изотопно-геохимического состава вод. По концентрации стабильных изотопов дейтерия и кислорода-18, входящих в молекулы воды, можно сделать заключение о генезисе подземных вод. Воды седиментационного происхождения имеют высокие концентрации дейтерия и кислорода-18, при разбавлении водами инфильтрационного происхождения их концентрация уменьшается. В Волго-Камском артезианском бассейне были выполнены широкомасштабные изотопно-геохимические исследования (Гидрогеологические исследования..., 1993) в водоносных горизонтах, залегающих выше и ниже верейского водупора.

Воды горизонтов, расположенных под верейским водупором, содержат дейтерий в количествах, соответствующих составу вод первичных эвапоритовых бассейнов (от –41 до –28%). Поэтому подверейские водоносные горизонты интересующего региона оценивают как горизонты с низким темпом водообмена и констатируют практически полное отсутствие связи с инфильтрационными водами.

Генетический облик пластовых вод, как правило, оценивают хлорнатриевым соотношением. Установлено, что

rNa^+/rCl^- для океанической воды равен 0,87; при $rNa^+/rCl^- > 0,87$ воды имеют метеорное и инфильтрационное происхождение. Если $rNa^+/rCl^- < 0,87$ воды являются седиментогенными морского генезиса или древними инфильтрогенными. Другим фактором генезиса пластовых вод является величина Cl^-/Br^- , которая для океанической воды равна 300. При $Cl^-/Br^- > 300$ – воды либо инфильтрогенные, либо седиментогенные метеорного происхождения; при $Cl^-/Br^- < 300$ воды являются седиментогенными или древнеинфильтрогенными. Этот фактор оценки связан с тем, что бром является активным водным мигрантом.

Водоносные комплексы нижнего карбона и девона, находящиеся в зонах затрудненного и застойного водообмена, надежно изолированы от проникновения в них инфильтрационных вод и содержат сульфатно-хлоридные и хлоридные воды высокой минерализации (до 210 – 260 г/л). Характерным для вод этой зоны является повышенное содержание микрокомпонентов (йода, брома, бора).

Волго-Камский артезианский бассейн является гидрогеологической структурой I порядка, в пределах которой происходит питание, накопление и разгрузка подземных вод. Границы артезианских бассейнов проводятся по водоразделам подземных вод двух верхних гидрогеологических зон (свободного и затрудненного водообмена). Следовательно, перетоки подземных вод в естественных условиях из одного бассейна в другой полностью исключены.

В границах Волго-Камского артезианского бассейна нижнекаменноугольные породы выходят на дневную поверхность или непосредственно под четвертичные отложения в краевых областях бассейна, а именно в 320 км к юго-востоку от Карашурской площади, в 700 км к западу на Окско-Цнинском валу; на Жигулевском валу (в 400 км западнее) они залегают под отложениями C_3-C_2 .

Водоносный горизонт турнея из-за отсутствия выдержанного водоупора на границе карбона с девонем гидродинамически связан с водоносными горизонтами карбонатной части разреза верхнего девона и объединяется с ним в единый водоносный комплекс толщиной до 600 м (Геология и нефтеносность..., 1976).

Водовмещающими породами являются трещиноватые и выщелоченные известняки, иногда с прослоями доломитов. Основные водопроводящие толщи приурочены к закарстованным и трещиноватым рифогенно-карбонатным массивам турнейского и фаменского ярусов толщиной до 500 м. Причем наиболее изученной является турнейская часть разреза, к которой приурочены нефтяные месторождения. Карбонатная часть франского яруса изучена слабо.

Покрышкой водоносного комплекса служат глинистые породы в основании нижнекаменноугольной терригенной толщи.

Водоносный комплекс в регионе обладает резко неоднородной водообильностью. Дебиты скважин колеблются от 0,4 до 800 м³/сут, проницаемость от единиц до 2850 мД (Геология и нефтеносность..., 1976).

В местах выхода на поверхность (Окско-Цнинский вал и др.) турнейский водоносный комплекс содержит пресные воды. По мере удаления от областей питания увеличивается глубина залегания подземных вод, возрастает их минерализация и меняется химический состав вод от гидрокарбонатных кальциевых через сульфатные до хлорид-

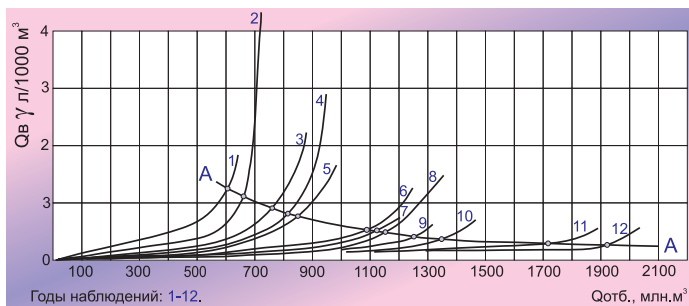


Рис. 1. Зависимость водного фактора при отборе газа на Инчукалском ПХГ.

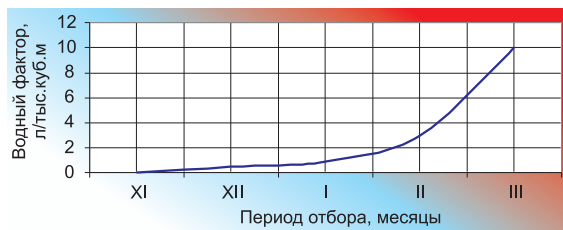
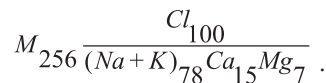


Рис. 2. Прогнозный расчет водного фактора при отборе газа на Карашурском ПХГ.

ных натриевых.

На Карашурской площади из данного водоносного комплекса получены хлоридно-натриевые рассолы удельного веса 1,171, имеющие формулу химического состава:



Содержание брома 518 мг/л, йода – 11 мг/л, бора – 19,6 мг/л. Коэффициенты метаморфизации составляют $Na/Cl = 0,78$; $(Cl-Na)/Mg = 2,95$. Тип воды по Сулину хлоркальциевый.

Воды по своему химическому составу аналогичны водам яснополянского горизонта. Статический уровень находится на глубине 207 – 212 м (абсолютная отметка плюс 23 – 26 м).

В рассматриваемом водоносном комплексе Волго-Камского артезианского бассейна успешно эксплуатируются опытно-промышленный полигон захоронения жидких радиоактивных отходов института НИИАР (г. Димитровград) и полигон захоронения промстоков Кирово-Чепецкого химкомбината с токсичными компонентами (Гидрогеологические исследования..., 1993).

Полигон в районе г. Димитровграда организован для сброса отходов в водовмещающие пласты башкирско-ок-

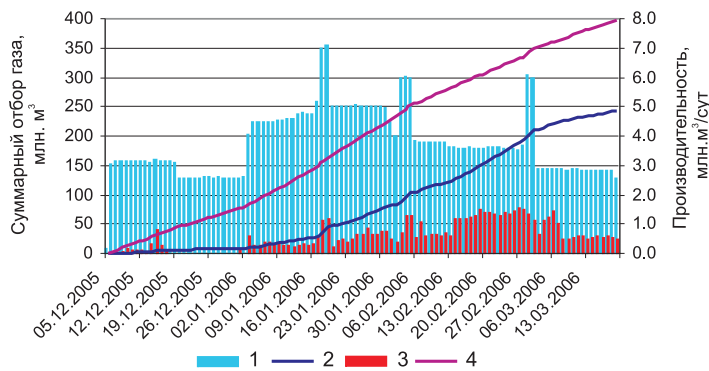


Рис. 3. Фактические показатели отбора газа на Карашурском ПХГ в 2005 – 2006. 1 – $Q_{сут.}$, млн.м³, 2 – Q воды сезон, м³, 3 – Водный фактор, л/1000м³, 4 – Q газа за сезон, млн.м³.

ского комплекса и яснополянского надгоризонта, в районе захоронения башкирско-окские отложения залегают на глубинах 1138 – 1184 м, которые перекрыты верейским водоупором мощностью 45 – 64 м, выше залегают буферные верхне-нижнепермский и верхне-среднекаменноугольный комплексы. Яснополянский надгоризонт залегают на глубине 1410 – 1467 м, перекрыт глинисто-карбонатными отложениями окского и яснополянского горизонтов, подстилается плотными глинистыми известняками турнейского яруса мощность которых достигает 30 – 40 м. Полигон эксплуатируется с 1966 г. (Гидрогеологические исследования..., 1993). Многолетние наблюдения за эксплуатацией полигона в этих отложениях показали, что радиус распространения близок к круговому и не превышает 1400 м.

Кирово-Чепецкий полигон захоронения расположен в восточной части Восточно-европейской платформы. Пластом-коллектором служат отложения доломитов с прослоями известняков окско-серпуховского горизонта на глубине 1257 – 1438 м. Закачка промстоков ведется через 6 нагнетательных скважин в объеме до 2000 м³/сут, полигон эксплуатируется с 1987 г., распространение компонентов зафиксировано на удалении 100 – 200 м в концентрациях, соответствующих зоне дисперсии фронта отходы – подземные воды (Тектоника Вятско-Камского..., 1968).

Рассмотрим проблему захоронения промстоков для конкретного объекта – Карашурского ПХГ.

Карашурское ПХГ создается в отложениях яснополянского надгоризонта (тульский и бобриковский горизонты) нижнего карбона. Поднятие, которое исследуется в качестве ловушки, приурочено к Акаршурскому рифовому массиву. Это надрифовая складка размерами 2,4×2,1 км изометрической формы с амплитудой около 100 м.

Для изучения возможности захоронения промышленных стоков при создании и эксплуатации Карашурского ПХГ пробурены и опробованы со вскрытием карбонатных отложений турнейского яруса три скважины, из них 90 и 91 – в купольной зоне структуры. Приемистость скважин составила от 4,5 до 29 м³/сут при репрессии на пласт 2,5 МПа. Продуктивные характеристики позволяют с достаточным запасом нагнетать промстоки в период отбора газа. Степень герметичности покрышки малиновских глин оценивалась по откачкам. В качестве буферного горизонта рассматривался вышележащий бобриковский горизонт. Пластовые воды – хлоридно-натриевые рассолы плотностью 1171 кг/м³. Коэффициенты метоморфизации NaCl = 0,78 (Тектоника Вятско-Камского..., 1968).

Изучение региональных факторов пригодности пластов-коллекторов Карашурской площади для захоронения промышленных стоков, карбонатных отложений позволяет рекомендовать для этого карбонатные отложения турнейского яруса (Тектоника Вятско-Камского..., 1968).

Фаменско-турнейский пласт-коллектор разведан глубокими скважинами и представлен рифогенными карбонат-

ными образованиями. По своим параметрам пригоден для закачки промстоков. При этом, учитывая рифогенное происхождение, поглощительные скважины следует размещать в сводовой зоне структуры. Покрышкой над пластом-коллектором служат глинистые породы в основании нижнекаменноугольной терригенной толщи, представленные глинами малиновского горизонта мощностью более 25 м, повсеместно выдержанные по площади поднятия.

Перечислим основные факторы, позволяющие рекомендовать турнейский ярус в качестве объекта для захоронения промышленных стоков.

1. Наличие трех регионально выдержанных надежных водоупоров: глинистая толща малиновского возраста; верейские глины; уфимские глины, разделяющие пресные воды от минерализованных.

2. Генетический облик пластовых вод, указывает на их седиментационное морское происхождение.

3. Воды горизонтов ниже верейских глин по содержанию дейтерия соответствуют составу вод первичных эвапоритовых бассейнов.

4. Амплитуда ловушки по кровле турнейского яруса составляет около 200 м, приемистость скважин изменяется от 4,5 до 29 м³/сут на 0,1 МПа, которой вполне достаточно для закачки прогнозного объема промышленных стоков Карашурского ПХГ.

Для оценки возможного выноса воды на Карашурском ПХГ приведем в качестве аналогии опыт многолетней эксплуатации Инчукалнского ПХГ (Латвия), с довольно близкими фильтрационно-емкостными свойствами пласта-коллектора, амплитуда поднятия 100 м, средняя проницаемость 2 Дарси, эффективная толщина 48 м.

Наблюдения за динамикой водного фактора при создании Инчукалнского ПХГ в цирмском пласте-коллекторе (C_{1-2ср}) показали, что максимальный объем вынесенной пластовой воды составил 700 м³ в сезоне отбора газа 1978 – 1979 гг. и в дальнейшем, по мере освоения пласта-коллектора, не превышал 120 – 480 м³ за сезон. Ниже приведен график наблюдений за водным фактором при создании Инчукалнского ПХГ.

Из анализа зависимости удельного объема воды от объема отобранного газа (Рис. 1) следует вывод, что водный фактор на Инчукалнском ПХГ постоянно снижается, несмотря на то, что газовый пузырь вначале представлял собой водоплавающую залежь до момента вывода газохранилища на проектные показатели. Средняя величина водного фактора не превышает 0,5 – 0,6 л/тыс. м³ газа. Кривая А-А проведена через определенные точки серии кривых зависимости Q_в = f(Q_{отб}), которые характеризуют начало активного увеличения объема воды в отбираемом газе. Как видно из графика, эта кривая описывает некоторую зависимость обводнения с ростом заполнения пласта газом, асимптотически стабилизируясь около некоторого значения. В сезоне отбора газа 2002 – 2003 гг. было извлечено 480 м³ пластовой воды при максимальном за все время эксплуатации объеме отобранного газа 2074 млн. м³. Средний за сезон водный фактор составил 0,27 л/тыс. м³.

На основании этого графика можно спрогнозировать вынос воды и на Карашурском ПХГ. Оценочными расчетами установили, что вынос пластовой воды за сезон отбора газа прогнозируется объемом 300 – 350 м³. В первые

Табл. 1. Фактические показатели выноса воды из бобриковского пласта-коллектора Карашурского ПХГ в период ОПЭ в 2005 – 2008 гг.

Показатели	2005	2005-06	2006-07	2007-08
Суммарный отбор воды, м ³	130	243	385	300
Максимальный отбор воды в сутки, м ³	9,3	8,22	9,3	6,11
Максимальный за сезон водный фактор, л/тыс. м ³ газа	2,0	1,52	1,96	0,91
Средний за сезон водный фактор, л/тыс. м ³ газа	0,5	0,75	0,7	0,52

КРИТЕРИИ ВЫБОРА ХРАНИЛИЩ ГЕЛИЕВОГО КОНЦЕНТРАТА В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

В работе рассмотрены критерии выбора хранилищ гелиевого концентрата в различных геологических условиях, преимущества и недостатки основных способов хранения, варианты создания хранилищ гелиевого концентрата в Восточной Сибири.

Ключевые слова: подземные хранилища/подземное хранение гелия, гелиевый концентрат, Восточная Сибирь, месторождения, герметичность, соляные каверны, перспективы, критерии выбора объекта, возврат гелиевого концентрата.

В Восточной Сибири и на Дальнем Востоке открыто 49 месторождений нефти и газа. Наиболее перспективными районами для проведения геологоразведочных работ и разработки месторождений природного газа на

сегодняшний день представляются Иркутская область, республика Саха и Эвенкийский автономный округ.

Таким образом, в Восточной Сибири будет сформировано три региональных центра газодобычи Чаяндинс-

Окончание статьи А.С. Гарайшина, Г.Н. Рубана «Основные критерии выбора...»

годы создания газохранилища возможен максимальный вынос воды до 450 м³, а максимальный суточный отбор пластовой воды в отдельные периоды не превысит 10 м³/сут. Полагали также, что при циклической эксплуатации максимальный водный фактор не превысит 3 – 5 л/тыс. м³. На рис. 2 приведен расчетный график возможного водного фактора при циклической эксплуатации Карашурского ПХГ. Полагали, что с уменьшением запасов газа, естественным образом будет расти величина водного фактора.

Для сравнения в табл. 1 приведены фактические показатели выноса воды из бобриковского пласта-коллектора Карашурского ПХГ в период опытно-промышленной эксплуатации (ОПЭ) в 2005 – 2008 годах.

Как видно из приведенной таблицы расчетные показатели оказались даже несколько завышенными, чем реальные данные. А это, в общем, означает, что был заложен значительный запас при экспертной оценке объемов выноса пластовой воды. На рис. 3 приведены показатели отбора газа из бобриковского пласта-коллектора в период резкого похолодания и повышенного потребления газа.

Анализ достигнутых результатах эксплуатации Карашурского ПХГ в бобриковском пласте-коллекторе, полученных в течение 6-ти дней в процессе увеличения отборов газа от 4,7 до 7,075 млн м³ и стабильной работы ПХГ в течение 3-х суток с производительностью около 7 млн м³/сут в сезоне отбора газа 2005 – 2006 гг. показал следующее. На начало увеличения суточной производительности пластовое давление было равно 12,3 МПа. Суточный расход газа плавно возрастал с 4,7 млн. м³ до 7,075 млн м³ с последующим переходом на стабильный режим отбора в объеме 5,03 млн м³/сут. Максимальный водный фактор составил всего 1,16 л/тыс. м³ газа, отсепарированная вода с плотностью 1107 кг/м³ соответствует минерализации 163-164 г/л. Был зафиксирован максимальный пик вынесенной воды в объеме 8,21 м³/сут.

Наблюдения за полигоном захоронения промстоков полностью подтвердили правильность выбора пласта-аккумулятора и его надежность. Результаты замеров глубин

залегания статического уровня в поглощающих №№ 90, 91 и наблюдательных скважинах №№ 1НГ и 2НГ, свидетельствуют о том, что на полигоне захоронения сформировался устойчивый купол закачиваемых промстоков. Гидравлическое влияние закачки промстоков сезона 2006 – 2007 гг. четко отразилось на режиме уровней в наблюдательных скважинах №№ 1НГ и 2НГ. Из контролируемых токсичных компонентов в пробах определен метанол в количествах: в скважине 1НГ – 0,001 г/дм³; в 2НГ – 0,004 г/дм³. При оценке влияния закачки промстоков в турнейские отложения на химический состав пластовых вод верхнепермских отложений установлено: захоронение промстоков Карашурского ПХГ на рассматриваемом этапе не оказало негативного воздействия на вышележащие водоносные горизонты и окружающую среду.

Литература

- Геология и нефтеносность Удмуртской АССР. Под ред. Л.В. Шаронова. Ижевск: «Удмуртия». 1976. 128.
- Гидрогеологические исследования для обоснования захоронения промышленных стоков. Под ред. Грабовникова В.А. ГП «Гидроспецеология». Изд. «Недра». 1993.
- Гидрогеоэкологический контроль на полигонах закачки промышленных сточных вод. Под ред. Ильченко В.П. М.: ИРЦ Газпром. 2000.
- Гидрогеоэкологический контроль на специализированных полигонах размещения жидких отходов производства в газовой отрасли. СТО Газпром 18-2005. М. 2005.
- Тектоника Вятско-Камского междуречья. Тр. Геол. института Казан. фил. АН СССР. Изд. «Недра». 1968.

G.N. Ruban, A.S. Garaishin. **The basic criteria of a choice of a layer-accumulator for a burial place of industrial drains Karashursky UGS.**

The fact whether reservoirs of Karashurskoye UGS can be used for disposal of industrial wastes has been studied on the basis of regional factors. Carboniferous deposits of the Tournai stage were defined as the most suitable reservoir for disposal of industrial wastes. The paper describes main factors that allow to recommend the Tournai stage to be used for above mentioned purposes.

Keywords: underground storage/storehouse of gas, recycling, burial place of industrial drains, cyclic operation, layer-collector.