

Я. В. Фомина^{1✉}, Д. А. Новиков¹, И. И. Юрчик¹

Перспективы реализации проектов CCS в меловых комплексах Тазовско-Пурского артезианского бассейна

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: Sadykovayv@ipgg.sbras.ru

Аннотация. В работе рассмотрены перспективы реализации проектов по геологическому размещению углекислого газа в водоносных горизонтах апт-альб-сеноманского и неокомского комплексов в пределах Тазовско-Пурского артезианского бассейна. В первую очередь при оценке были учтены следующие группы критериев: общегидрогеологические и структурно-тектонические, литологические, гидродинамические и геотермические, гидрогеохимические, природоохранные и ресурсные. Выполненный анализ показал, что наиболее перспективными являются осевые зоны Западно-Сибирского бассейна, за исключением крупных сениклиз, для которых характерны аномально высокие пластовые давления в водоносных горизонтах неокомского комплекса. Полученные результаты позволяют перейти к дальнейшей локальной оценке наиболее перспективных участков с целью лицензирования недр и выделения структур в фонд потенциальных хранилищ углекислого газа.

Ключевые слова: проекты утилизации углекислого газа, технология CCS, осадочные бассейны, Западно-Сибирский артезианский бассейн, Тазовско-Пурский артезианский бассейн

Y. V. Fomina^{1✉}, D. A. Novikov, I. I. Yurchik¹

Prospects for the implementation of CCS projects in the Cretaceous complexes of the Taz-Pur artesian basin

¹Institute of Petroleum Geology and Geophysics named after. A. A. Trofimuk SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: Sadykovayv@ipgg.sbras.ru

Abstract. The paper considers the prospects for the implementation of projects on the geological placement of carbon dioxide in the aquifers of the Aptian-Albian-Cenomanian and Neocomian aquifers within the Taz-Pur artesian basin. First of all, the following groups of criteria were taken into account during the assessment: general hydrogeological and structural-tectonic, lithological, hydrodynamic and geothermal, hydrogeochemical, environmental and resource criteria. The analysis showed that the most promising are the axial zones of the West Siberian Basin, with the exception of large senicles, which are characterized by abnormally high formation pressures in the aquifers of the Neocomian aquifer. The results obtained allow us to proceed to further local assessment of the identified most promising areas for licensing and allocation of structures to the fund of potential carbon dioxide storage facilities.

Keywords: carbon dioxide utilization projects, CCS technology, sedimentary basins, West Siberian artesian basin, Taz-Pur artesian basin

Введение

В последнее десятилетие власти и бизнес активно разрабатывают и внедряют новые подходы к минимизации воздействия парниковых газов на атмосферу. Многие нефтегазовые компании добровольно взяли на себя обязательства

по утилизации выбросов углекислого газа путем их долговременного размещения в недрах. Для этих целей компаниями рассматриваются существующие лицензионные участки с лицензиями на геологическое изучение и разработку месторождений углеводородов.

Западно-Сибирский артезианский бассейн является хорошо изученным с точки зрения геологии регионом, а по результатам проведенного ранее регионального прогноза перспектив территории РФ для реализации проектов CCS в северных и центральных районах выявлены благоприятные условия для размещения больших объемов CO_2 [1]. Наличие регионально выдержанных водоносных горизонтов в меловой части разреза, надежно изолированных от зоны активного водообмена региональным туронско-датским водоупором, отсутствие активной тектоники и подходящие термобарические условия делают регион привлекательным объектом для реализации проектов долгосрочного хранения углекислого газа.

Не смотря на сравнительно хорошую изученность верхних горизонтов мезозойско-кайнозойского осадочного чехла, весьма актуальной остается задача поиска подходящих участков для долгосрочного размещения углекислого газа. Наибольший интерес в этом плане представляют апт-альб-сеноманский и неокомский водоносные комплексы, которые характеризуются отсутствием зон развития аномально высоких пластовых давлений и температур, кроме того пластовые условия позволяют разместить диоксид углерода в плотnofазном состоянии. В этой связи, целью настоящего исследования являлось проведение прогноза перспектив реализации проектов CCS в пределах меловых водоносных комплексов Тазовско-Пурского артезианского бассейна.

Методика

Методика оценки пригодности гидрогеологических бассейнов и их частей для реализации проектов CCS включает в себя три уровня детальности: региональный, зональный и локальный. Самый общий уровень – **региональный**, позволяет оценить территорию как благоприятную или неблагоприятную для реализации проектов в целом [1]. Второй уровень оценки перспектив территорий – **зональный**, на нем оцениваются части бассейнов, выделяются перспективные водоносные горизонты по площади и в разрезе [2]. Самый детальный уровень прогноза – **локальный**, на котором выполняется обоснование конкретных геологических структур для проектирования полигонов для размещения углекислого газа. Подробная характеристика критериев оценки приведена в методических работах [1, 2]. Ниже будут охарактеризованы наиболее значимые из них. Ранее авторским коллективом были оценены перспективы реализации проектов CCS в Московском артезианском бассейне и на о. Сахалин [3, 4].

Обсуждение

Район исследования приурочен к северной и центральной частям Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, где промышленные залежи нефти и газа выявлены в широком возрастном диапазоне: от нижнеюрских отложений до ту-

ронского яруса верхнего мела. В регионе отсутствуют складчатые области и щиты, для меловых комплексов комплекса характерно преобладание пластовых гидрогеологических тел и терригенных коллекторов с поровым типом пустотного пространства.

Анализ активных разломов и наведенной сейсмичности показал, что рассматриваемая территория относится к региону с интенсивностью сейсмических сотрясений ниже 5 баллов и может быть оценена как благоприятная.

В гидрогеологическом разрезе выделяется два этажа: нижний, относящийся к зоне затрудненного и застойного водообмена и верхний – активного. В пределах нижнего водоносного этажа выделяется пять водоносных комплексов, надежно изолированных от зоны активного водообмена туронско-датским региональным водоупором (сверху – вниз): апт-альб-сеноманский, неокомский, верхнеюрский, ниже-среднеюрский, палеозойский (совместно с триасовым). В верхней части разреза выделяется палеогеново-четвертичный комплекс.

В регионе можно выделить 6 типов гидрогеологических разрезов, которые отличаются по полноте выделяемых водоносных и водоупорных горизонтов, наиболее полные характерны для наиболее погруженной части Западно-Сибирского бассейна, где мощность осадочного чехла достигает 8-9 км, а в западной и восточной окраинных частях бассейна разрез заметно сокращается, из него выпадают как меловые, так и юрские осадки, суммарная мощность редко достигает 1 км.

Пористость песчаников/алевролитов в пределах нефтегазоносных отложений меняется в широком диапазоне от 0,70 до 42,55 %, закономерно уменьшаясь от меловых к доюрским резервуарам. Установлено, что доминируют в разрезе песчаники/алевролиты с величиной пористости 10-20 %. Самыми высокими коллекторскими свойствами обладают слабосцементированные пески и песчаники покурской свиты апт-альб-сеноманского водоносного комплекса (пласты ПК). Их пористость изменяется от 10,54 до 42,55 %, гидропроводность составляет $3,81 \cdot 10^{-5}$ - $7,40 \cdot 10^3$ мкм²·м/мПа·с, при среднем значении 109,9 мкм²·м/мПа·с. Все это позволяет получать притоки до 1000 м³/сут и более. Воды комплекса используются для системы поддержания пластового давления.

Водоносные горизонты неокомского водоносного комплекса, хоть и обладают высокими фильтрационно-емкостными свойствами, но в большей мере затронуты процессами уплотнения пород. К отложениям комплекса приурочены проницаемые пласты группы А и Б, пористость которых составляет 7,40-33,52 %, гидропроводность варьирует в интервале $2,23 \cdot 10^{-4}$ - $4,15 \cdot 10^3$ мкм²·м/мПа·с, средние дебиты воды достигают 42,1 м³/сут.

В апт-альб-сеноманском водоносном комплексе выявлены слабосоленые воды с величиной общей минерализации, изменяющейся от 1,5 до 25,3 г/дм³. А в неокомском водоносном комплексе распространены как слабосоленоватые воды, так и слабые рассолы с величиной общей минерализации, изменяющейся от 2 до 53 г/дм³. По химическому составу воды в обоих комплексах являются преимущественно хлоридными натриевыми.

Интервал изменения пластовых температур в кровле апт-альб-сеноманского водоносного комплекса составляет от 0 до 50 °С. Околонулевые и отрицательные

температуры приурочены к прибортовым частям, и связаны с влиянием толщи многолетнемерзлых пород. Фоновыми значениями выступает интервал температур от 20 до 30-35 °С. Аномалии с повышенными значениями пластовых температур (более 35 °С) занимают две обширные области. Одна из них приурочена к Северо-Таймырскому наклонному мегавалу (I порядок), Южно-Карской мегавпадине (I порядок), осложняющей Карскую мегасинеклизу и Северо-Карскую моноклизу. Вторая расположена на самом юге исследуемой территории и приурочена, главным образом, к Нерутиской мегавпадине, осложняющей юго-западную часть Большехетской мегасинеклизы, и к Верхнетанловской мегавпадине, осложняющей северо-восточную часть Надымской гемисинеклизы.

На карте распределения пластовых температур в пределах кровли неокомского комплекса вариация пластовых температур достигает 100 °С. Интервал температур от 0 до 25 °С зафиксирован в районах, прилегающих к обрамлению Западно-Сибирской геосинеклизы, и кроме того фиксируется в пределах структуры II-ого порядка – Рассохинского мезовыступа. Область высоких значений пластовых температур – более 75 °С выделяется в пределах крупных и промежуточных и отрицательных структур – Северо-Карской моноклизы, Карской синеклизы, Большехетской мегасинеклизы и Надымской гемисинеклизы.

Основной гидродинамической особенностью Тазовско-Пурского артезианского бассейна является широкое развитие аномально высоких пластовых давлений (АВПД), начиная с неокомского комплекса [5]. С глубиной отчетливо выделяется две гидродинамические зоны (сверху-вниз): гидростатических и повышенных переходящих в АВПД. К первой приурочены большинство водоносных горизонтов апт-альб-сеноманского водоносного комплекса. Нормальные пластовые давления (3,5-28,4 МПа) характерны для апт-альб-сеноманского комплекса, в неокомском комплексе напряженность гидростатического поля возрастает и давления переходят от гидростатических к аномально-высоким (от 6,3 до 77,9 МПа). Ниже по разрезу давления возрастают.

Комплекс выполненных региональных и зональных исследований позволил закартировать в пределах меловой части разреза (апт-альб-сеноманский и неокомский комплексы) области, благоприятные для размещения углекислого газа в водорастворенном и сверхкритическом состоянии. На основе критериев зонального прогноза было проведено ранжирование земель на четыре категории перспективности – бесперспективные, низкоперспективные, среднеперспективные и высокоперспективные.

В неокомском комплексе бесперспективные зоны приурочены к окраинным частям бассейна, где существенное влияние оказывают процессы инфильтрации атмосферных осадков (Рис. 1). К низкоперспективным зонам отнесены области развития АВПД и с глубинами залегания кровли неокомских отложений от 800 до 900 м. Среднеперспективные земли характеризуются повышенными пластовыми давлениями. Высокоперспективные зоны расположены в центральной (осевой) части бассейна и выделяются исключительно в неокомском комплексе. Здесь развиты условия максимально подходящие для размещения углекислого газа: в комплексе: температуры превышают 30 °С и давления близки к условно-

гидростатическим, минерализация подземных вод в среднем составляет 15-20 г/дм³, в разрезе преобладает элизионный водообмен. Водоносные горизонты неокомского комплекса надежно изолированы от зоны активного водообмена, а содержащиеся в нем воды не используются для целей питьевого и хозяйственного водоснабжения населения.

Однако, необходимо так же обратить внимание на наличие особо охраняемых природных территорий в пределах Тазовско-Пурского артезианского бассейна – заповедников и заказников государственного значения, буферные зоны вокруг городов и контуры месторождений углеводородов, которые накладывают ограничение на использование земель для реализации проектов CCS

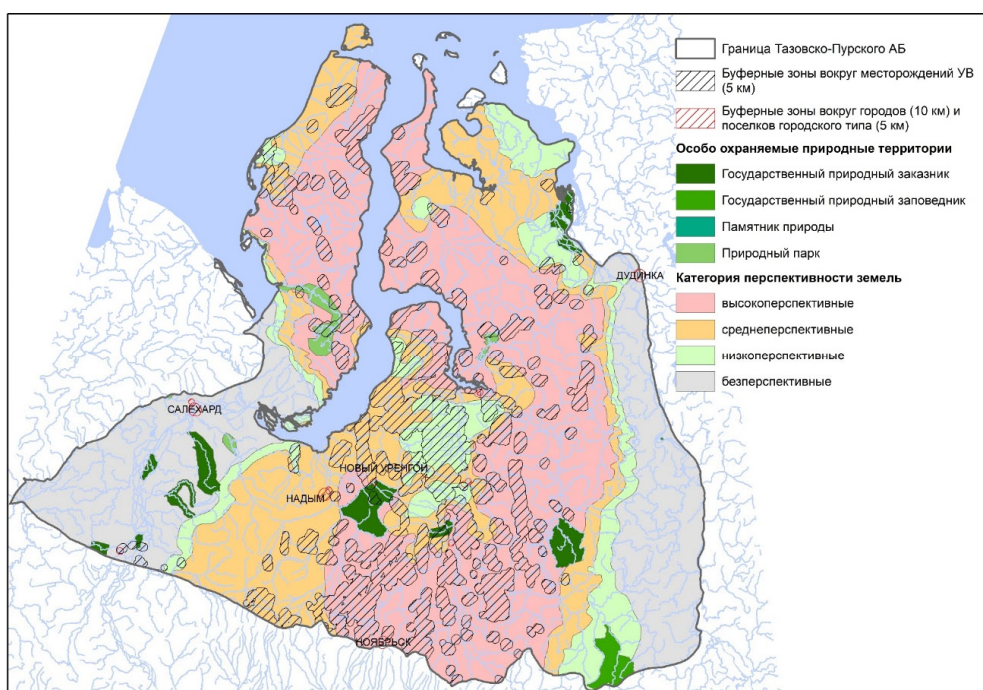


Рис.1. Карта зонального прогноза неокомского водоносного комплекса Тазовско-Пурского артезианского бассейна для целей размещения углекислого газа

Заключение

Комплекс выполненных региональных и зональных исследований позволил закартировать в пределах Тазовско-Пурского артезианского бассейна благоприятные области для размещения углекислого газа. Рассмотрены общегеологические, тектонические, сейсмические, литологические, гидродинамические, геотермические, гидрогеохимические критерии. Комплекс выполненных региональных и зональных исследований позволил закартировать в пределах неокомского и апт-альб-сеноманского комплексов области, благоприятные для размещения углекислого газа в сверхкритическом и водорастворенном состояниях.

Наибольшими перспективами обладает неокомский водоносный комплекс. Бесперспективными неокомские отложения будут только в пределах Большехетского НГР Пур-Тазовской НГО и Приобского НГР Фроловской НГО, поскольку

в их пределах расположены крупные отрицательные тектонические элементы (Большехетская мегасинеклиза и Надымская гемисинеклиза), для которых характерны повышенные значения пластовых давлений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования РФ № FWZZ-2022-0014.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новиков Д.А. Региональный прогноз перспектив захоронения углекислого газа на территории Российской Федерации / Д.А. Новиков, Ф.Ф. Дульцев, И.И. Юрчик, Я.В. Садыкова, А.С. Деркачев, А.В. Черных, А.А. Максимова, С.В. Головин, Н.Г. Главнов, Е.А. Жуковская // Нефтяное хозяйство. – 2022. – №3. – С.36-42.
2. Новиков Д.А. Оптимальный комплекс критериев зонального прогноза перспектив захоронения углекислого газа в геологических формациях / Д.А. Новиков, Я.В. Фомина, И.И. Юрчик, А.В. Черных, Ф.Ф. Дульцев, С.В. Головин // Экология и промышленность России. – 2023. – Т.27. – № 4. – С.44-49.
3. Новиков Д.А., Фомина Я.В., Юрчик И.И., Деркачев А.С., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Максимова А.А., Никитенков А.Н., Князев А.Г. Первый опыт зонального прогноза Московского артезианского бассейна для реализации проектов CCS // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – № 10. – С.119-139.
4. Юрчик И.И., Новиков Д.А., Жарков Р.В. Тектонические, геологические и гидрогеологические риски размещения CO₂ в водоносных горизонтах юга острова Сахалин // Экология и промышленность России – 2024.– том 28. – № 5. – С. 67-71.
5. Новиков Д.А. Роль элизионного водообмена в формировании гидродинамического поля Ямало-Карской депрессии / Д.А. Новиков // Литология и полезные ископаемые. – 2019. – № 3. – С. 248-261.

© Я. В. Фомина, Д. А. Новиков, И. И. Юрчик, 2025