

Ф. Ф. Дульцев^{1,2}, Д. А. Новиков^{1,2}, А. С. Деркачев^{1,2}*

Перспективы реализации проектов CCS в пределах Ленинградского артезианского бассейна

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН), г. Новосибирск, Российская Федерация

² Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

* e-mail: Dultsevff@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Приведены первые данные по зональному прогнозу осадочного чехла Ленинградского артезианского бассейна. На изучаемой территории в разрезе осадочного чехла выделено 2 водоносных этажа, включающих в себя 9 водоносных горизонтов, причем в северных районах большинство их них выходит на дневную поверхность. Большая часть осадочного выполнения промыта инфильтрационными водами. Высокая степень гидрогеологической закрытости недр характеризует отложения нижнего венда и рифея. На основе комплексной интерпретации геологических (структурно-тектонических, литологических и др.) и гидрогеологических (гидродинамических, геотермических, гидрогеохимических и др.) данных установлено, что в качестве целевых горизонтов для размещения углекислого газа могут быть рассмотрены рифейские отложения, распространенные в пределах Крестецкого авлакогена в юго-восточной части Ленинградского артезианского бассейна, где перспективный интервал для проектирования газовых хабов для проектов CCS может достигать более 2 км.

Ключевые слова: зональный прогноз, геологическое размещение углекислого газа, Ленинградский артезианский бассейн

F. F. Dultsev^{1,2}, D. A. Novikov^{1,2}, A. S. Derkachev^{1,2}*

Prospects for the implementation of CCS projects within the Leningrad artesian basin

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

² Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: pochta@pochta.ru

Abstract. Data on the zonal forecast of the sedimentary cover of the Leningrad artesian basin are presented. In the study area, in the context of the sedimentary cover, 2 aquifer levels were identified, including 9 aquifers, and in the northern regions most of them reach the surface. Most of the sedimentary material is washed by infiltration waters. A high degree of hydrogeological closure of the subsoil characterizes the Lower Vendian and Riphean deposits. Based on a comprehensive interpretation of geological (structural-tectonic, lithological, etc.) and hydrogeological (hydrodynamic, geothermal, hydrogeochemical, etc.) data, it was established that Riphean deposits distributed within the Krestetsky aulacogen can be considered as target horizons for the placement of carbon dioxide in the southeastern part of the Leningrad artesian basin, where the promising interval for designing gas hubs for CCS projects can reach more than 2 km.

Keywords: zonal forecast, geological distribution of carbon dioxide, Leningrad artesian basin

Введение

Одна из наиболее важных экологических проблем 20-21 века является глобальное потепление, в следствие которого происходит таяние ледников, подъем уровня мирового океана и подтопление прибрежной зоны, а также значительные изменения живых организмов. Согласно исследованию один из главных факторов глобального потепления являются парниковые газы (водяной пар, углекислый газ, метан и др.) Вторым по значимости парниковым газом является углекислый газ, основным источником которого является деятельность человека: сжигании ископаемого топлива, сокращение лесов, отдельные виды промышленности. В отличие от водяного пара и метана, углекислый газ имеет продолжительное «время жизни» в атмосфере, что приводит к накопительному эффекту. Одним из способов снижения углекислого газа является его размещение в геологических формациях.

Методы и материалы

Ленинградский артезианский бассейн расположен на северо-западной окраине Русской платформы и охватывает территорию г. Санкт-Петербург, Ленинградскую, Новгородскую, Псковскую, северо-западную часть Вологодской области и южную часть Республики Карелия (рис.1). В регионе развиты лесная и деревообрабатывающая, химическая, сельскохозяйственная промышленности и машиностроение. Высокий уровень экономического развития, обширная транспортная инфраструктура и достаточно хорошая степень геологической изученности региона делает его привлекательным для реализации проектов геологического размещения углекислого газа.

Территория исследования изучается уже на протяжении достаточно длительного времени. Первая региональная гидрогеологическая работа была опубликована в 1936 году. Именно с этого времени началось активное всестороннее изучение и к настоящему времени накоплен огромный фактический материал – практически на всей территории проведена геологическая и гидрогеологическая среднемасштабная съемка (1:200000), а также почти треть территории покрыта специализированными гидрогеологическими съемками масштабом 1: 50000. При этом наибольшее внимание уделялось изучению качества, степени защищенности, оценки ресурсного потенциала и мониторингу подземных вод. Исключение составляют погруженные горизонты, в которых содержатся наиболее минерализованные воды и рассолы, не используемые для хозяйственных нужд.

Согласно выполненному ранее региональному прогнозу, территория исследования относится к категории высокоперспективных земель для реализации проектов CCUS (рис. 1) [1]. Следующий этап оценки перспективности (зональный уровень) позволяет закартировать перспективные водоносные горизонты для целей реализации проектов CCS в плане и в геологическом разрезе [2]. На этом этапе выполняется экспертная оценка объемов возможной утилизации CO₂ в перспективных горизонтах. Для этого необходимо рассмотреть следующие группы критериев: 1) общегидрогеологические; 2) структурно-тектонические; 3)

литологические; 4) гидродинамические; 5) геотермические; 6) гидрогеохимические; 7) природноохранные; 8) ресурсные.

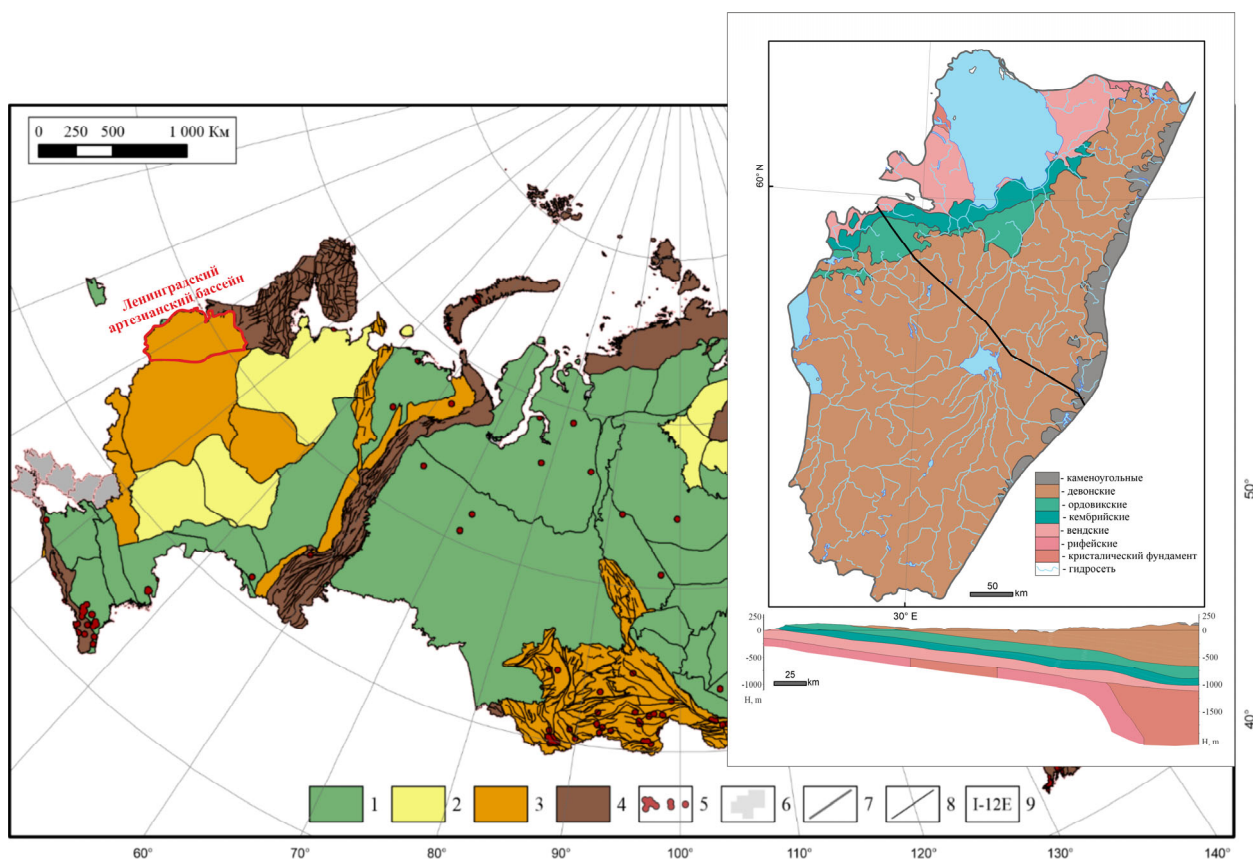


Рис. 1. Карта перспектив размещения углекислого газа по критериям регионального уровня (Новиков и др. 2023, с дополнениями).

Категории перспективных земель: 1 – высоких, 2 – средних, 3 – низких; 4 – бесперспективные; 5 – эпицентры землетрясений; 6 – территории неоцененные на региональном уровне; 7 – границы гидрогеологических структур второго порядка; 8 – активные разломы; 9 – индексы гидрогеологических структур второго порядка.

Результаты и обсуждение

Территория Ленинградского артезианского бассейна разделяется на три гидрогеологических района: 1) Прибалтийско-Ладужский, приуроченный к одноименной моноклинали; 2) Латвийский, приуроченный к одноименной седловине; и 3) Западно-Московский, занимающий большую часть территории и приуроченный к западной части Московской синеклизы. Прибалтийско-Ладужский и Латвийский гидрогеологические районы характеризуются малыми мощностями и неполнотой геологического разреза осадочного чехла. Наиболее полный вертикальный разрез представлен в Московском районе, где выделяется два гидрогеологических этажа: архейско-вендский (нижний) и верхневендско-четвертичный (верхний), разделенные верхневендским водоупорным горизонтом [3, 4].

На территории Ленинградского артезианского бассейна в разрезе осадочного чехла выделено 2 водоносных этажа, включающих в себя 9 водоносных горизонтов [3, 4]. На севере бассейна отложения всех горизонтов выходят на поверхность (непосредственно или под четвертичные отложения), и представляют собой зону свободного водообмена. Также северные районы характеризуются использованием всех водоносных горизонтов для питьевого и хозяйственного водоснабжения и не могут быть рассмотрены для осуществления проектов ССS.

Согласно системе зональных критериев, разработанных нами для оценки перспектив размещения углекислого газа в геологических формациях осадочных бассейнов России [1, 5], проведена оценка региона горизонтов наиболее перспективные для осуществления проектов ССS в пределах Ленинградского артезианского бассейна. Поверхность фундамента погружается в южном и юго-восточном направлении и как следствие мощность осадочного чехла увеличивается, что приводит к росту степени закрытости недр. В пределах Московской синеклизы средняя мощность разреза осадочного чехла не превышает 700-1000 м, а в зоне развития Крестецкого авлакогена достигает 3500 м и более. На территории исследования выделяются два региональных водоупорных горизонта: нижнекембрийский (лонтоваский) водоупорный горизонт и верхневендский (котлинский) водоупорный горизонт, что позволяет рассматривать нижневендский-рифейский комплекс перспективным для размещения углекислого газа.

Геотермическое поле имеет сложное строение. Установлено, что величины геотермических градиентов варьируют в пределах от 1,6 до 3,6 °C/100м (рис. 2а), а большая часть бассейна характеризуется повышенными значениями геотермического градиента (2,6-3,3 °C/100м). Наибольшие его величины (3-3,6°C/100м) установлены в центральной и западной частях исследуемого региона, что вероятнее всего связано с повышенными тепломассопереносами в пределах зон трещиноватости. В южной и юго-восточных частях (в пределах Крестецкого авлакогена) величины геотермических градиентов значительно понижаются до 1,6°C/100м, составляя в среднем 2,2-2,4°C/100м. В северо-западной части также установлено понижение значений величины геотермических градиентов по направлению к выходу на поверхность пород Балтийского щита. В пределах Ленинградского артезианского бассейна развиты нормальные пластовые давления – их рост объясняется лишь изменением структурного плана (рис.2б).

В разрезе установлена прямая гидрогеохимическая зональность – наблюдается рост минерализации с глубиной (рис.2в). Пресные воды с минерализацией от 0,1-0,3 г/дм³ характерны для верхней части разреза (от четвертичных до вендских) в северной части бассейна. В центрально и южной части в наиболее погруженных толщах установлены крепкие рассолы с величиной общей минерализации до 130 г/дм³, и как следствие эти комплексы не эксплуатируются для питьевых, техничсеский и бальнеологических целей. Что так же подтверждают выводы о достаточной защищенности недр. На территории бассейна образования вендского комплекса используется для подземного хранения газа (Гатчинское и Невское ПХГ).

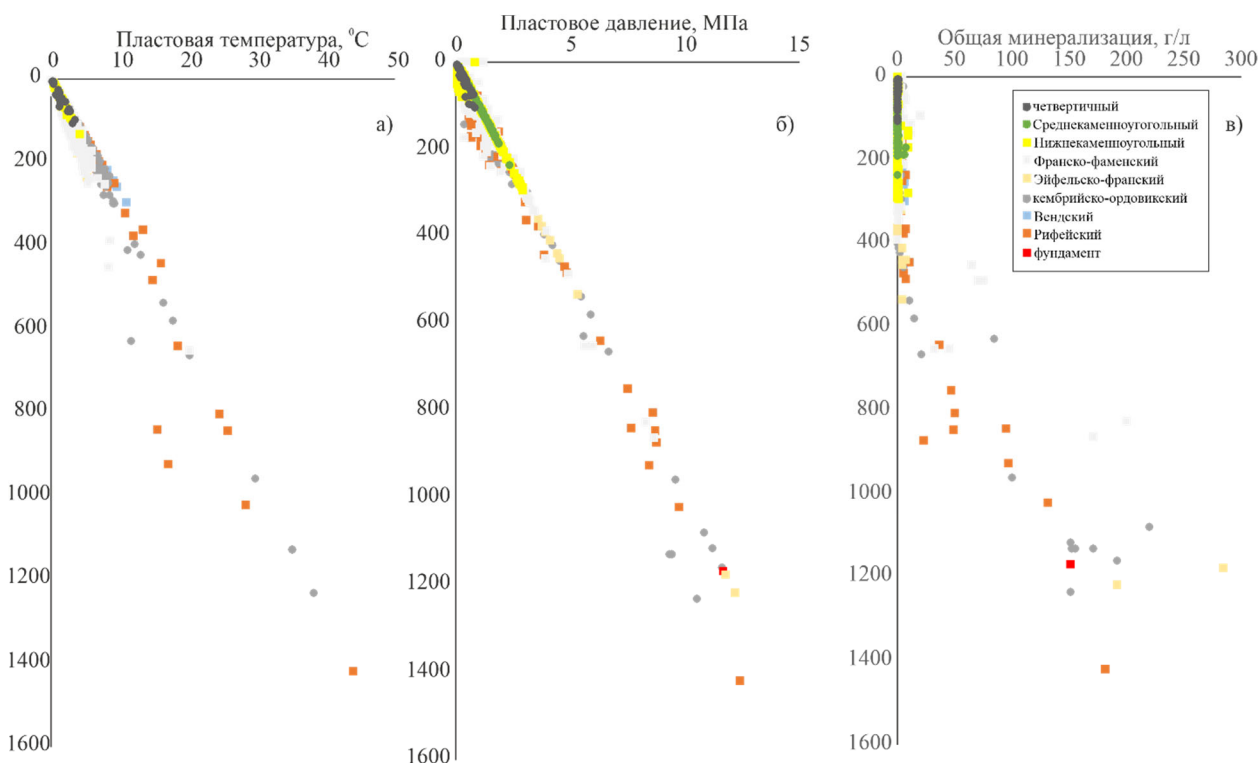


Рис. 2. Зависимость изменения пластовых температур (а), пластовых давлений (б) и минерализации (в) с глубиной.

Таким образом, для целей осуществления проектов геологического размещения углекислого газа в пределах Ленинградского артезианского бассейна могут быть рассмотрены только рифейские отложения, заполняющие Крестецкий авлокоген. Однако их степень изученности остается крайне низкой и как следствие выполнить качественную и количественную оценку не представляется возможным. По имеющимся данным рифейские отложения характеризуются низкой степенью трещиноватости. По аналогии с Московским артезианским бассейном [6], расположенным юго-восточнее исследуемой территорией, авлокогены компенсированы преимущественно песчаниками (до 70%) и алевrolитами. Пористость песчаников изменяется от 0.5 до 12 %, а проницаемость не превышает $21 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$.

Заключение

В настоящем исследовании впервые было проведено ранжирование территории Ленинградского артезианского бассейна по перспективности реализации проектов CCS. В пределах Ленинградского артезианского бассейна закартированы участки со средними, низкими перспективами и бесперспективные. На региональном уровне территория Ленинградского артезианского бассейна была отнесена к высокоперспективным (Новиков и др., 2022). Однако проведенные нами исследования позволили установить, что большая часть территории относится к бесперспективным. На основе предложенной методики зонального прогноза [2] с учетом всех возможных ограничений, для осуществления проектов CCS может

быть рассмотрены только рифейские отложения, развитые в зоне Крестецкого авлокогена (рис. 5). Степень их изученности остается низкой и провести количественную оценку возможного объема размещенного углекислого газа крайне трудно. Основным результатом является карта перспектив реализации проектов CCS.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования РФ № FWZZ-2022-0014, Новосибирского государственного университета по программе Приоритет-2030

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новиков Д.А., Дульцев Ф.Ф., Юрчик И.И., Садыкова Я.В., Деркачев А.С., Черных А.В., Максимова А.А., Головин С.В., Главнов Н.Г., Жуковская Е.А. Региональный прогноз перспектив захоронения углекислого газа на территории Российской Федерации // Нефтяное хозяйство – 2022. – № 3. – С. 36-42.

2. Новиков Д.А., Фомина Я.В., Юрчик И.И., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Головин С.В. Оптимальный комплекс критериев зонального прогноза перспектив захоронения углекислого газа в геологических формациях // Экология и промышленность России – 2023. – том 27. – № 4. – С. 44-49.

3. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Листы О-35 – Псков, (N-35), О-36 – Санкт-Петербург. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012, 510 с.

4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист N-36 (M-36) — Смоленск. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. 267 с.

5. Novikov D.A., Fomina Ya.V., Yurchik I.I., Derkachev A.S., Chernykh A.V., Dultsev F.F., Maximova A.A., Nikitenkov A.N., Golovin S.V. Suitability of basins in Russia for aquifer CO₂ storage: evaluation strategy // – 2024. – Journal of Sedimentary Environments. – p. 1-21

6. Новиков Д.А., Фомина (Садыкова) 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. – том 334. – № 10. – С. 119-139

© Ф. Ф. Дульцев, Д. А. Новиков, А. С. Деркачев, 2024