

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДЗЕМНОЙ СЕКВЕСТРАЦИИ УГЛЕРОДА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Ласкач В.А.

Научный руководитель инженер-исследователь Коношонкин Д.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

В последнее время проблема сокращения выбросов углекислого газа в атмосферу приобретает всё большую актуальность. В 2015 г было принято Парижское соглашение по климату, заявленная цель которого не допустить превышения глобальной среднегодовой температуры на планете к 2100 году более чем на 2°C. Развивая договоренности данного соглашения Российская Федерация заявила, что сократит объем выбросов к 2030 году на 25-30% от уровня 1990 года [1]. На фоне этого возрастает роль технологий секвестрации CO₂, осуществляющаяся в рамках Carbon Capture Utilization and Storage (CCUS) проектов, как ключевого направления в обеспечении глобальной цели по предотвращению изменения климата. По ряду оценок [1] Россия обладает значительным потенциалом подземного хранения CO₂, а развитая инфраструктура нефтегазодобычи делает способ закачки CO₂ в геологические объекты истощенных нефтегазовых месторождений весьма перспективным.

На сегодняшний день известно несколько вариантов геологического захоронения CO₂ [3]. Самым доступным и наиболее рациональным из них является закачка углекислого газа в выработанные нефтяные либо газовые пласты-коллекторы. Как правило, геологическое строение и свойства таких пластов уже хорошо изучены, а доказанный факт удержания флюидоупором нефти и газа на протяжении многих миллионов лет гарантирует невозможность утечки CO₂. К тому же наличие развитой инфраструктуры нефтегазовых месторождений снижает капиталоемкость закачки. Кроме того, закачка углекислого газа может рассматриваться как метод увеличения нефтеотдачи (МУН), при котором часть закаченного газа неизбежно остается в нефтегазоносном пласте, а дополнительно добытая нефть улучшает экономику проекта. Вторым вариантом является закачка в глубокозалегающие соленые водоносные горизонты. Однако, данные горизонты мало изучены – по сравнению с залежами нефти и газа в водоносных горизонтах пробурено гораздо меньшее количество скважин. Тем не менее, потенциал емкости для захоронения у водоносных горизонтов гораздо больше в виду их повсеместного распространения. Третьим вариантом являются угольные пласты, но они крайне мало изучены и имеют сравнительно малую емкость для закачки. Тем не менее, по оценке основанной на данных Государственного баланса запасов полезных ископаемых РФ, емкость только нефтяных и газовых месторождений в России, пригодных для захоронения CO₂, составляет 305 Гт, а суммарный объем геологических коллекторов для секвестрации углерода в РФ варьируется от 1173 до 3813 Гт [1]. Наиболее перспективными районами для секвестрации углерода в РФ являются водоносные горизонты, расположенные на территории Восточно-Европейской, Западно-Сибирской, и Восточно-Сибирской платформ (рис 2). Менее перспективными считаются складчатые области, обозначенные на рисунке 2 зеленым цветом. Непригодными для закачки являются массивы кристаллических пород (Балтийский, Анабарский, Алданский).

В основе удержания углерода в пласте лежат следующие механизмы: структурное или стратиграфическое улавливание (удержание в структурах ловушек), физическое улавливание (за счет капиллярных сил и гистерезиса фазовых проницаемостей), химическое улавливание (растворение в пластовой воде с дальнейшим образованием карбонизированной воды), и минералогическое улавливание (геохимическое взаимодействие минералов горных пород и углекислого газа с последующим образованием карбонатных пород) [3]. Эти механизмы работают вместе, повышая безопасность захоронения в зависимости от времени (рис. 1).



Рис. 1. Механизмы удержания CO₂ [1]



Рис. 2. Перспективные зоны для захоронения CO₂ в России

При поиске подходящих геологических структур для потенциального захоронения CO₂, помимо наличия выдержанного пласта-коллектора с достаточными фильтрационно-емкостными свойствами, важно выполнение определенных требований. Геологический объект должен залегать на достаточной глубине для изолированности от приповерхностных горизонтов с питьевой водой. Достаточная глубина залегания также должна позволять

удерживать CO₂ в состоянии сверхкритического флюида для увеличения эффективности хранения. Углекислый газ переходит в сверхкритическое состояние при 31,3°С и 7,4 МПа. Как правило, для обеспечения таких термобарических условий глубина закачки должна составлять не менее 800 метров [2]. Не менее важным является наличие надежного флюидоупора для предотвращения вертикальной миграции углекислого газа из целевого в вышележащие пласты. Обычно в качестве покрышки выступают глинистые пласты или отложения эвапоритов – такие породы имеют крайне малый радиус поровых каналов и обладают высоким входным капиллярным давлением, препятствующим миграции углекислого газа. Кроме того, выбранный объект закачки должен иметь достаточный ёмкостной потенциал для вмещения запланированного объема CO₂.

На данный момент существует несколько вариантов подсчета ёмкостного потенциала хранения CO₂, одним из которых является методика подсчёта применяемая к водоносным горизонтам (глубинным соленым аквиферам) разработанная министерством энергетики США. На ее основе была создана компьютерная программа CO₂-SCREEN, представляющая собой Excel-таблицу для ввода входных данных, соединенную с GoldSim Player моделью для расчёта симуляций по методу Монте-Карло. На вход подаются исходные данные: пластовое давление и температура, площадь залежи, пористость, а также статистические показатели распределений данных параметров. Через таблицу состояний определяется плотность CO₂ в пластовых условиях, а на основе введенных значений параметров и их распределений рассчитываются потенциальные ресурсы хранения CO₂ [2].

В общем случае, оценка потенциала хранения углекислого газа (G_{CO2}) проводится по формуле 1:

$$G_{CO_2} = A \cdot h \cdot \varphi \cdot \rho_{CO_2} \cdot E, \quad 1)$$

где A – площадь участка, м²; h – мощность пласта, м; φ – пористость, д. ед; ρ_{CO_2} – плотность CO₂, т/м³; E – коэффициент эффективности хранения, д. ед. Коэффициент E показывает какую долю общего порового пространства может занять CO₂. Выбор данного показателя в наибольшей степени влияет на величину запасов, он рассчитывается как доля пространства формации, доступная для хранения CO₂, умноженная на долю порового пространства, где CO₂ может вытеснить исходный флюид:

$$E = E_{A_n/A_t} \cdot E_{H_n/H_g} \cdot E_{\varphi_{ef}/\varphi_t} \cdot E_A \cdot E_L \cdot E_G \cdot E_D, \quad 2)$$

где E_{A_n/A_t} – доля площади объекта, подходящая для хранения, д. ед; E_{H_n/H_g} – песчанность, д. ед; $E_{\varphi_{ef}/\varphi_t}$ – отношение эффективной пористости к открытой, д. ед; E_A – площадная эффективность вытеснения, д. ед; E_L – вертикальная эффективность вытеснения, д. ед; E_G – эффективность гравитационного вытеснения, д. ед; E_D – коэффициент вытеснения на микроуровне, т.е. доля порового объема где CO₂ может вытеснить исходный флюид.

По данной методике было проведено исследование влияния различных параметров (тип геологических структур, температура и глубина резервуара, ОФП, анизотропия проницаемости и скорость закачки) на эффективность хранения CO₂ [2]. Источником исходных данных послужила база данных Average Global Database (AGD), которая включает в себя информацию о свойствах флюида и геологии 20000 месторождений. На основе данных 8462 месторождений, по которым были доступны данные по обстановке осадконакопления, были выделены 4 типа структур (рис. 3): куполообразная; антиклинальная; моноклиальная без наклона и под углом в 5° (для моноклиалей дополнительно задавались изолирующие разломы на границах моделей). В результате моделирования были выявлено, что эффективность хранения CO₂ возрастает при: наличии купольных структур, при увеличении глубины залегания и пластовой температуры. Уменьшение анизотропии проницаемости, наоборот снижает эффективность хранения, т.к. при малых значениях k_v/k_h CO₂ распространяется наиболее эффективно по латерали, за счёт чего увеличивается охват (рис. 4).

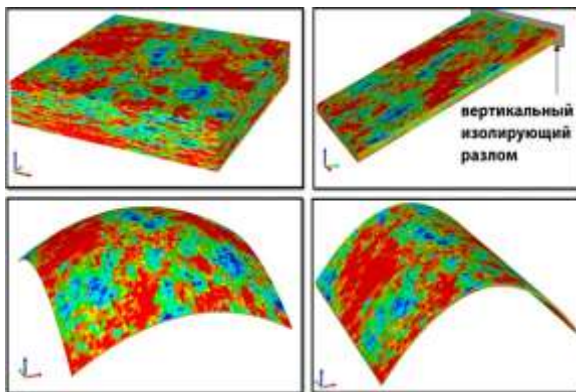


Рис. 3. Кубы пористости исследуемых моделей [2]

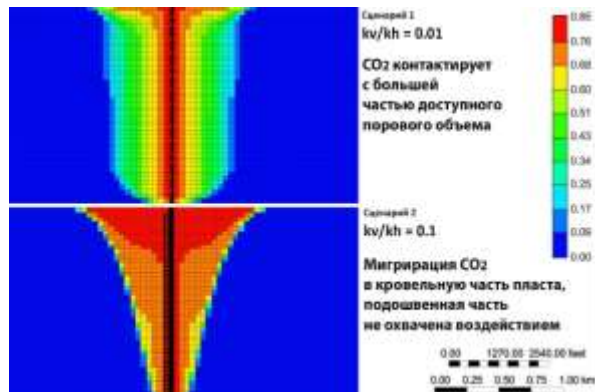


Рис. 4. Разрезы куба насыщенности CO₂ [2]

Подводя итог, нужно отметить, что геологические аспекты секвестрации CO₂ во многом схожи с нефтегазовой сферой. Тем не менее, концепция захоронения CO₂ несет в себе гораздо больше рисков и неопределенностей и поэтому требует большего изучения и развития в будущем.

Литература

1. Клубков С., Емельянов К., Зотов Н. CCUS: монетизация выбросов CO₂ (2021) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vygon.consulting/products/issue-1911/>
2. Gorecki C., Sorensen J. et al. Development of Storage Coefficients for Determining the Effective CO₂ Storage Resource in Deep Saline Formations (2009) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.2118/126444-MS>
3. Ringrose P. How to Store CO₂ Underground: insights from early-mover CCS Projects (2020) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-33113-9>

**ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ ПОЧВ И ГРУНТОВ Г. ТАШТАГОЛ,
П.Г.Т. ШЕРЕГЕШ И ШОРСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА**

Леухин И.В.¹, Дударева Е.В.¹

Научный руководитель профессор Е.Г. Языков²

¹Шорский национальный парк. г. Таштагол, Россия

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Обобщаются результаты исследования магнитной восприимчивости на урбанизированных и природных территориях Горной Шории за 2020-2022 гг. Оценка магнитной восприимчивости – экспресс метод, позволяющий косвенно указывать на наличие скопления тяжёлых металлов и прямо указующий на насыщенность исследуемого компонента ионами железа различной валентности. Метод прост и дешёв, позволяет обследовать большое количество территории, не прибегая к дорогостоящему анализу за относительно короткий срок.

Цель: провести сравнительный анализ величины магнитной восприимчивости для почв на территории г. Таштагол, пгт Шерегеш и Шорского национального парка.

Задачи

- 1.) Провести литературный обзор по изучаемой теме
- 2.) Провести комплекс полевых, лабораторных и камеральных работ: отбор, подготовку проб, измерение магнитной восприимчивости и статистический анализ результатов.
- 3.) Оценить на основе полученных данных степень возможной загрязнённости почв урбанизированных и природных территорий соединениями железа и тяжёлыми металлами.

Объект предмет исследования: урбанизированные территории юга Кемеровской области – Кузбасса и природная территория Шорского национального парка. Предмет – магнитная восприимчивость рассматриваемых почв, как индикатор загрязнённости окружающей среды.

В г. Таштагол в течении 2020 – 2021 гг было отобрано 25 проб почвы на глубину 0-10 см., в Шорском национальном парке в 2021 г. взято 5 проб почвы, в Шерегеше осенью 2021 г. забрано 9 проб почвы в трёх основных функциональных зонах: курортной, жилой и промышленной. Такой набор территорий обусловлен схожестью условий почвообразования и как следствие геохимических особенностей региона [1,3,5]. Подобные исследования проводились в г. Междуреченске [7], а изучение геологических и геохимических особенностей Горной Шории велось ещё в начале двадцатого века М.А. Усовым и другими исследователями [4].



Рис. 1. Схема отбора проб в г. Таштагол; красным выделены точки фактического отбора проб, жёлтым – запланированного, синие точки – точки отбора снега, результаты обрабатываются