

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 502.52

DOI 10.17513/use.38188

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА
ПОГЛОЩЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА
ЭКОСИСТЕМАМИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ****Голеусов П.В.***ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Белгород, e-mail: goleusov@bsu.edu.ru*

В условиях климатических изменений, роста антропогенной нагрузки на природные экосистемы, роста деградации земель важно оценить природный потенциал ассимиляции углерода, баланс которого является индикатором устойчивости экосистем. Для Белгородской области – аграрного региона с высоким уровнем антропогенной трансформации природных ландшафтов, наличием мощных центров техногенной эмиссии загрязняющих веществ – оценка ассимиляционного потенциала в отношении углекислого газа имеет особое значение. Цель исследования – предварительная оценка потенциала поглощения углекислого газа экосистемами Белгородской области, перспектив обеспечения положительного баланса углерода в депонирующих средах и возможности углеродной нейтральности региона. Объектами оценки являются природные и природно-антропогенные экосистемы Белгородской области, в которых происходят поглощение (секвестрация) атмосферного углерода и его депонирование в виде органического вещества биомассы, мортмассы и органического вещества почв. В результате проведения научно-исследовательской работы даны предварительные оценки антропогенных выбросов углекислого газа на территории Белгородской области, даны предварительные оценки поглотительного потенциала основных типов природных экосистем региона, определены перспективы достижения углеродной нейтральности региона. При современном уровне природопользования Белгородская область не может стать углерод-нейтральным регионом. При рациональном использовании отходов животноводства, применении технологий регенеративного земледелия углерод-нейтральным может стать только сельское хозяйство региона.

Ключевые слова: углерод, углекислый газ, эмиссия, секвестрация углерода, углеродный баланс, поглощение CO₂, углеродная нейтральность

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-17-00169, <https://rscf.ru/project/23-17-00169>.

**PRELIMINARY ASSESSMENT OF THE POTENTIAL
FOR CARBON DIOXIDE ABSORPTION
BY ECOSYSTEMS OF THE BELGOROD OBLAST****Goleusov P.V.***Belgorod National Research University, Belgorod, e-mail: goleusov@bsu.edu.ru*

In the context of climate change, increasing anthropogenic pressure on natural ecosystems, and increasing land degradation, it is important to assess the natural potential for carbon assimilation, the balance of which is an indicator of ecosystem sustainability. For the Belgorod oblast, an agricultural region with a high level of anthropogenic transformation of natural landscapes and the presence of powerful centers of technogenic emissions of pollutants, assessing the assimilation potential for carbon dioxide is of particular importance. The purpose of the study is a preliminary assessment of the potential for carbon dioxide absorption by the ecosystems of the Belgorod oblast, the prospects for ensuring a positive carbon balance in depositing environments and the possibility of carbon neutrality in the region. The objects of assessment are natural and natural-anthropogenic ecosystems of the Belgorod oblast, in which atmospheric carbon is absorbed (sequestered) and deposited in the form of organic matter (biomass, mortmass and soil organic matter). As a result of the research work, preliminary assessments of anthropogenic carbon dioxide emissions in the Belgorod oblast were given, preliminary assessments of the absorption potential of the main types of natural ecosystems in the region were given, and prospects for achieving carbon neutrality in the region were determined. At the current level of environmental management, the Belgorod oblast cannot become a carbon-neutral region. With the rational use of livestock waste and the use of regenerative farming technologies, only the region's agriculture can become carbon neutral.

Keywords: carbon, carbon dioxide, emission, carbon sequestration, carbon balance, CO₂ absorption, carbon neutrality

The work was carried out with financial support from the Russian Science Foundation, project No. 23-17-00169, <https://rscf.ru/project/23-17-00169>.

Белгородский регион весьма напряженный в отношении углеродного баланса: высокий уровень развития промышленного и сельскохозяйственного производства, ма-

лая лесистость, дефицит квазиприродных экосистем делают его уязвимым в отношении обеспечения углеродной нейтральности. В Белгородской области развиваются

2 крупные городские агломерации: Белгородская (площадью 7200 км², населением 719,5 тыс. человек – 47% всего населения Белгородской области) и Старооскольско-Губкинская (4448 км², 411,1 тыс. человек), которые являются крупными центрами эмиссии парниковых газов. Высокая степень антропогенной преобразованности территории региона (более 80% – сельскохозяйственные, промышленные и селитебные земли) и незначительная лесистость (менее 12%) определяют актуальность оценки поглотительной способности агроэкосистем, находящихся в местах интенсивной эмиссии парниковых газов. Вместе с тем, Белгородская область является регионом-лидером в сфере внедрения технологий биологизации и адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

Объекты исследования – природные и природно-антропогенные экосистемы Белгородской области, в которых происходят поглощение (секвестрация) атмосферного углерода и его депонирование в виде органического вещества биомассы, мортмассы и органического вещества почв.

Цель исследования – оценка секвестрационного (поглотительного) потенциала природных и квазиприродных экосистем Белгородской области для определения компенсации выбросов из промышленных источников.

Материалы и методы исследования

В качестве материалов для исследования использованы данные литературных источников, космические снимки и ДЗЗ ресурсов ESRI, Bing, Google, Яндекс, данные Росстата по региону, нормативные документы, результаты предыдущих исследований автора.

Методы исследования: геоинформационные технологии (использование программ ArcGIS, MapInfo Professional, SAS.Planet), метод экспертных оценок, расчетные методы.

Основным методом учета выбросов углекислого газа является метод 1-го уровня, который основан на статистических данных о сжигании топливно-энергетических ресурсов по категориям источников и средних, рекомендуемых МГЭИК, коэффициентах выбросов. В металлургическом и цементном производстве расчеты уровня 1 проведены следующим образом: коэффициенты выбросов умножают на производство материала. Удельные показатели использованы также при оценке выбросов животноводства. Во всех случаях использованы данные литературных источников.

В оценке поглощения использованы статистические данные о структуре земельного фонда и показатели удельного поглощения, обоснованные по данным литературных источников и собственных исследований. В целом, они являются экспертными в связи с отсутствием детальных данных о структуре учитываемых земель.

Исследования проведены в соответствии с актуальной нормативной документацией в области охраны окружающей среды и углеродного регулирования.

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно 7-му национальному сообщению Российской Федерации, представленному в соответствии со статьями 4 и 12 Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата и статьей 7 Киотского протокола [1], в России в структуре источников выбросов парниковых газов превалирует энергетика (более 80%). В Белгородской области расходуется 15940 млн кВт·ч электроэнергии при собственной генерации 829,2 млн кВт·ч, что составляет 5,2% от потребления (2019 год). Электроэнергия поступает преимущественно из соседних регионов – Курской и Воронежской областей, генерируется АЭС. 100% газа и нефтепродуктов также поступает из других регионов [2].

Генерирующими компаниями Белгородской области являются – Филиал ПАО «Квадра» – «Белгородская генерация» и АО «ГТ Энерго», которые эксплуатируют 4 тепловые электростанции, и еще 5 электростанций находятся в эксплуатации промышленных предприятий (сахарные заводы) [2]. Основным топливом является природный газ, потребление которого суммарно составляет не менее 6,5355 млрд м³ [3, 4]. Соответственно, объем выбросов, рассчитанный по методике, изложенной в [5, 6], составляет не менее 12,5 млн т CO₂. Кроме того, область потребляет каменный уголь – 17,968 тыс. т – и нефтепродукты – 1,7 млн т [4]. Их сжигание приводит к выбросам еще 5,4 млн т CO₂. Таким образом, сжигание ископаемого топлива в области суммарно дает выброс 17,9 млн т CO₂ ежегодно.

Отдельно стоит отметить металлургическое производство области. Например, на ОЭМК в электродуговых печах происходят выжигание углерода из сырья и сторание электродов, суммарный выброс CO₂ составляет 1,5 т на 1 т стали [7]. В 2020 г. ОЭМК произвел 3,2 млн т стали, соответственно, вы-

брос CO_2 может достигать 4,8 млн т. Однако по отчетности предприятия за 2019 и 2020 гг. прямые выбросы (область охвата 1) составили 3,2 млн т [7]. Предприятие заявляет, что удалось сократить выбросы на 1 млн т CO_2 . На Лебединском ГОКе прямые выбросы составили 2,96 млн т CO_2 .

Важным компонентом выбросов CO_2 является обжиг известняка (мела) при производстве цемента и других строительных материалов (декарбонизация). При этом на разложение карбоната кальция приходится примерно 63% выброса CO_2 , 37% – на сжигание природного газа [8]. При общем объеме производства цементных заводов области в 2 млн т дополнительный выброс CO_2 составляет не менее 1 млн т.

Суммарный выброс CO_2 от промышленных источников и сжигания ископаемого топлива в Белгородской области составляет не менее 23,7 млн т.

В качестве источников выбросов углекислого газа также необходимо рассмотреть сельское хозяйство. Животноводство региона (по всем категориям хозяйств), по данным Белгородстата, на 01.01.2022 г. имело следующую структуру: 236,1 тыс. голов КРС, 4 269 тыс. свиней, 42 903,8 тыс. голов птицы. Используя данные о нормах выделения CO_2 [9] с учетом его выделений при ферментации навоза и помета [10], можно определить общий выброс углекислого газа животноводством области не менее 5,6 млн т/год.

Растениеводство Белгородской области, по данным Белгородстата, в 2021 г. осуществлялось на площади 1445,3 тыс. га, из них 47,1% занимали зерновые и зернобобовые культуры, 38,5% – технические. Наибольшую площадь пахотных почв региона составляют агрочерноземы (70,5%) и агросерые лесные почвы (6,2%) [11]. Для предварительных расчетов выделения CO_2 пашней можно принять, что эти типы почв имеют сходную эмиссию около 4 т/га CO_2 за вегетационный период (всего 5,8 млн т) [12], за год – около 7 т/га CO_2 (10,1 млн т). Частично эта эмиссия компенсируется накоплением органического вещества в почве, но она не превышает 1 т С/га в год [10], что в CO_2 -эквиваленте составляет 5,3 млн т. В итоге чистый выброс CO_2 почвами пашни составляет 4,8 млн т CO_2 в год.

Таким образом, суммарный выброс углекислого газа на территории Белгородской области составляет не менее 35,6 млн т в год, причем 50,3% приходится на сжигание ископаемого топлива и 29,5% – на выбросы сельского хозяйства. Заметны аграр-

ная специфика региона и его энергодефицитность: выработка энергии происходит в других регионах, и ее импорт позволяет снизить выбросы углекислого газа на территории Белгородской области.

Следует подчеркнуть, что приведенные оценки выбросов являются предварительными и не учитывают структуры соответствующих отраслей. Эта задача (инвентаризация выбросов) должна быть решена в ближайшее время в связи с внедрением углеродного регулирования в России в 2025–2028 гг.

Леса являются наиболее эффективными поглотителями углекислого газа среди сухопутных экосистем. Их ассимиляционная способность зависит от видового состава, сукцессионного статуса, возраста и других факторов. При этом надо учитывать, что леса – экосистемы с довольно интенсивным гетеротрофным дыханием, которое может приближаться по выделению углекислого газа к его поглощению в результате фотосинтеза в зрелых и перестойных лесах. В Белгородской области, согласно данным Управления лесами на 2021 год [13], площадь лесных земель составляет 230,8 тыс. га, из которых лесами покрыто 219,9 тыс. га. При таком учете лесопокрытой площади лесистость области едва превышает 8,1%. Общая площадь лесов области оценивается Управлением лесами в 248,8 тыс. га. Леса области – защитные, преимущественно противоэрозионные (78,9%) и лесопарковые (17,6%) [14, 15]. Леса в целом молодые. Средний возраст хвойных насаждений – 43 года, твердолиственных – 60 лет, мягколиственных – 35 лет. В составе лесов преобладают твердолиственные породы, которые занимают площадь 183,2 тыс. га, или 83,4% от покрытой лесом площади, в том числе дуба черешчатого – 161,4 тыс. га, или 88,1%, хвойные насаждения занимают 19,8 тыс. га, или 9,0%, мягколиственные породы – 16,3 тыс. га, или 7,4%, остальное кустарники – 0,5 тыс. га, или 0,2% [15]. Помимо лесных земель, находящихся в ведении Управления лесами Белгородской области, есть еще полезащитные и противоэрозионные лесополосы, площадь которых оценивается нами в 51,5 тыс. га. По данным учета путем дешифрирования космических снимков, общая площадь лесов Белгородской области оценивается в 332 тыс. га [16].

Вопрос об удельной поглотительной способности лесов довольно сложный, очевидно, что она ниже годового прироста (этот показатель не учитывает выделение

CO₂ лесом). Методика оценки чистой экосистемной продукции должна включать все компоненты экосистем, а не только древесный компонент. Например, для зоны смешанных (хвойно-широколиственных) лесов европейской части страны чистая экосистемная продукция оценивается в диапазоне 1,32–2,61 т С/га в год, в среднем 1,96 т С/га в год [17]. Однако этот показатель не используется в расчетах поглотительной способности лесов в связи с трудностью его определения. В работе [18] углеродный баланс для лесов Белгородской области оценен в 1,56 т С/га в год (максимальный в России, в среднем – 0,71 т С/га в год, для лесостепной зоны в целом – 1,37 т С/га в год). Обычно расчет проводится по российской методике РОБУЛ (Методика региональной оценки бюджета углерода лесов), которая, по некоторым оценкам [19], дает заниженные результаты. Методика использует данные государственного лесного реестра. Альтернативная методика разработана сотрудниками Всероссийского научно-исследовательского института лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ) [17]. Она учитывает также и резервные леса. Эту методику критикуют за то, что она позволяет существенно повысить оценки поглощения лесами, что может вызвать недоверие МГЭИК.

Таким образом, управляемые леса Белгородской области поглощают 1,32 млн т CO₂ в год (по методике РОБУЛ), что составляет 3,86% от суммарного антропогенного выброса. Но если учесть все леса области (это не признается МГЭИК), то поглощение составляет 1,90 млн т CO₂ в год (5,86% выбросов). Интересно, что при лесистости XVI в. 48% (1,3 млн га) [16] поглощение CO₂ составляло бы 7,44 млн т в год (около 22% выбросов).

Темпы роста лесопокрываемой площади области невелики. Управление лесами, например, отчиталось о 118,1 га посадок за 2020 год [13]. При этом естественное лесовозобновление не учитывается, поскольку оно происходит, в основном, на сельскохозяйственных землях. Вследствие изменений землепользования (отсутствие сенокосов и выпаса), а также при некотором росте количества осадков в овражно-балочной сети юга Среднерусской возвышенности лесистость выросла с 3,6% до 22,7% [20], что соответствует росту площади лесов в несколько тысяч гектаров.

Болота имеют довольно мощный блок накопления углерода в торфяных отложениях. Для России это важный компонент учета

углеродного баланса. При этом следует учитывать, что, располагая значительными запасами мертвого ОВ, болота способны увеличивать эмиссию в условиях потепления климата, в том числе и залповым способом – при пожарах. Оценки депонирования углерода болотами России довольно различаются. В работе [21] отмечено, что накопление углерода болотными экосистемами значительно ниже, чем лесными: 0,1–0,6 т С/га в год. В работе [22] отмечено, что в голоцене от бореального к субатлантическому (современному) периоду скорость накопления углерода в болотах снизилась более чем вдвое. Максимальная скорость была характерна для атлантического и бореального периодов для болот Западно-Сибирской низменности 1,37 т С/га в год (эквивалентно поглощению 5,02 т CO₂/га в год). Современная скорость в этих же болотах 0,112 т С/га в год (0,41 т CO₂/га в год). Современные темпы изменяются в диапазоне от 10,3 в полигональных болотах до 51,7 г С/(м² в год) в низинных травяных болотах, в среднем – 48,0 г С/(м² в год), что эквивалентно поглощению 1,76 т CO₂/га в год. Как видно, такой уровень поглощения в целом выше среднего депонирования углерода лесами России. Но для болот Белгородской области специальных исследований баланса углерода не проводилось, поэтому будем использовать данное значение как условную величину.

По данным Росреестра [23], в Белгородской области 22570 га земель занято болотами, хотя по данным дешифрирования космоснимков площадь может быть выше – до 29885 га [24]. По положению в рельефе болота области разделяются на пойменные, овражные, западинные и склоновые. Большинство болот относится к низинному типу (около 98% от общего их числа), они приурочены к прирусловой части долин крупных рек области [25].

В общей сложности болота Белгородской области теоретически могут депонировать до 52 597,6 т CO₂, что, конечно, является совсем небольшой величиной в масштабах региона. Можно предположить, что в перспективе в связи с изменением климата площадь болот в регионе может несколько вырасти, как и продуктивность болотных экосистем, следовательно, возрастет и поглощение углерода.

В работе [10] для земледельческой зоны России отмечен отрицательный углеродный баланс, связанный с потерей почвами углерода вследствие интенсивного агроисполь-

зования. В масштабах страны, вероятно, это имеет обоснование, но на региональном уровне возможны и иные тенденции. Здесь мы пока не будем обсуждать вариант забрасывания пашни с реализацией природных восстановительных сценариев на залежах. Он достаточно хорошо рассмотрен в фундаментальной монографии [26]. Более востребован вариант расширенного воспроизводства органического вещества в обрабатываемых почвах в связи со значительной долей их в земельном фонде области (1505,1 тыс. га на 2020 год) – 55,47%. Посевная площадь несколько меньше – 1445,3 тыс. га. Разность 59,8 тыс. га – потенциально залежные земли (формально – пар).

Мониторинг гумусного состояния агропочв Белгородской области осуществляет ФГБУ «ЦАС «Белгородский». По результатам 8-го тура агрохимического обследования (2005–2009 гг.), с учетом динамики за 20 лет проведены исследования [27], демонстрирующие, что накопление гумуса в большей степени определяется типологическими характеристиками почвы, чем агротехникой: в частности, повышается гумусированность агросерых почв, которые якобы трансформируются в черноземы. В агрочерноземах, наоборот, отмечена потеря органического вещества.

В последующие годы (с 2011 г.) в регионе начала реализовываться программа биологизации земледелия. Ее результаты за 10-летний период проанализированы в работе [28]. Так, среднее содержание органического вещества в почвах пашни увеличилось с 5,10 до 5,21 абс.%. Внесение органических удобрений в 2017–2019 гг. достигло 9,25 т/га в год [28]. При коэффициенте гумификации 0,1 поступление С составит 0,9 т/га, примерно столько же составят пожнивные остатки (до 10 т/га по зерновым), итого 1,8 т/га органического вещества в год. Минерализация гумуса составляет до 1,5 т/га в год. Итого прирост составил бы 0,3 т/га органического вещества. Депонирование углерода (в гумусе его 58%) агропочвами Белгородской области, согласно этим расчетам, составляет в пересчете на CO_2 0,96 млн т в год. Прирост содержания органического вещества в агропочвах Белгородской области с 2011 по 2020 гг. составил 0,11 абс.% [28], это эквивалентно поступлению 0,39 т/га органического вещества в год в пахотном слое, что соответствует 0,83 т CO_2 /га в год. Будем использовать эту величину. Итого агропочвы Белгородской области способны секвестрировать до 1,25 млн т CO_2 в год.

В структуре земельного фонда Белгородской области есть территории, которые целесообразно рассматривать как зоны экологической компенсации техногенного воздействия, в том числе и углеродного дисбаланса. К ним можно отнести антропогенно нарушенные геосистемы, в которых прекращена хозяйственная деятельность и происходят процессы экологической ренатурации – самоорганизации природных экосистем [29]. На некоторой площади таких земель осуществлены рекультивационные мероприятия, но их темпы (биологический этап) не превышают 100–150 га в год. На остальной площади реализуются естественные ренатурационные процессы – сукцессионное развитие посттехногенных экосистем, сопровождающееся ростом биомассы сообществ и накоплением органического вещества в почвах.

На 1 января 2021 года площадь нарушенных земель в Белгородской области составила 6,5 тыс. га. Нарушения в основном произведены горнодобывающей промышленностью, а также при выполнении геологоразведочных, изыскательских, строительных и других работ. В ситуациях, когда плодородный слой почв не наносится, на этих поверхностях при зарастании естественной растительностью происходит формирование новообразованных почв. Интенсивность данного процесса сильно зависит от литологических условий. Например, на суглинистых субстратах она выше, чем на песчаных или мело-мергельных. В среднем, скорость гумусонакопления в посттехногенных геосистемах находится на уровне 0,3–0,5 т/га в год (0,18–0,29 т С/га в год) [30]. Это соответствует секвестрации углекислого газа 0,70–1,06 т/га в год. Соответственно, новообразованные почвы нарушенных земель региона обеспечивают секвестрацию не менее 6,9 тыс. т CO_2 . Следует учесть, что часть этих земель зарастает древесно-кустарниковой растительностью, поэтому общий уровень поглощения будет еще выше. Например, на отвалах Лебединского ГОКа доля лесной растительности составляет около 20%. Соответственно, можно ориентировочно предположить, что за счет формирования древесных сообществ, на нарушенных землях дополнительно фиксируется более 7,5 тыс. т CO_2 в год. Итого 14,4 тыс. т CO_2 в год.

В ходе исследований [31] нами было выявлено 291 заброшенный сельский населенный пункт, их общая площадь составила 19234 га. В основном, эти территории сфор-

мированы постагрогенными (зарастающими садами и огородами) и постселитебными экосистемами, в которых ренатурация идет преимущественно по лесному типу, чему способствует наличие заброшенных садов. Общая лесистость этих территорий около 60%. Гумусонакопление в постагрогенных почвах происходит с более высокой скоростью, чем в посттехногенных геосистемах, и достигает 0,71 т С/га в год, в среднем – 0,45 т С/га в год [32]. Таким образом, в почвах заброшенных населенных пунктов фиксируется не менее 31,7 тыс. т CO_2 в год, а в биомассе – не менее 66,0 тыс. т CO_2 в год. Всего – 97,7 тыс. т CO_2 в год.

Постагрогенные земли (залежи: заброшенные пахотные земли и естественные кормовые угодья) в официальной отчетности Белгородской области отсутствуют, но по оценкам [33], их площадь составляет 145,25 тыс. га. Структура их растительного покрова в масштабах региона недостаточно исследована, но наши наблюдения свидетельствуют о постепенном зарастании не менее 40% этих земель древесно-кустарниковой растительностью. Однако на данном этапе учтем лишь почвенный блок, в котором ежегодно фиксируется около 240 тыс. т CO_2 ежегодно.

Важную роль в поглощении атмосферного CO_2 играют земли, на которых проходила реализация проекта «Зеленая столица». С 2010 по 2020 гг. по направлению «Облесение эрозионно опасных участков, деградированных и малопродуктивных угодий и водоохранных зон водных объектов» было высажено 100 297 га лесных насаждений различного породного состава (дуб черешчатый, сосна обыкновенная, акация белая, ясень зеленый и некоторые другие) [14]. Эти земли не находятся в ведении Управления лесами (за исключением 0,5 тыс. га). Поэтому учтем их отдельно. При проведении посадочных работ почвы нарушались, что способствовало усилению выделения ими CO_2 , но молодые насаждения компенсировали это выделение. По данным инвентаризации в 2019 г., 14,6% насаждений нуждались в ремонте, 12,7% – в полном восстановлении [34]. Учтем это в расчетах (–20%). Общая фиксация CO_2 из атмосферы этими насаждениями составляет не менее 460 тыс. т в год.

В структуре земельного фонда области есть категория прочих земель (61,2 тыс. га на 2020 г. [35]), так называемые неудобья. Можно предположить, что эти земли, хотя и довольно разнородны, имеют природный

режим функционирования. В некотором отношении они нами уже были учтены, в частности в оценке земель проекта «Зеленая столица» и в постагрогенных землях. Но очевидно, что не менее 35,9 тыс. га этих земель должно быть дополнительно учтено в оценке секвестрационного потенциала области. Используя минимальные оценки для определения прироста органического вещества в этих экосистемах на уровне 0,5 т С/га в год, условно определим их секвестрационный потенциал в 65,8 тыс. т CO_2 в год.

Земли водных объектов в области занимают 25,1 тыс. га. Важность речного стока в выносе карбонатов довольно велика [36]. Однако в Белгородской области это в основном литогенные карбонаты, входящие в состав горных пород, в которых формируется подземный сток. Органическое вещество ежегодной экосистемной продукции водоемов в основном минерализуется, но в некотором количестве попадает в состав донных отложений, где депонируется. Удельных оценок этого процесса пока нет. Можно предположить, что величины такого поглощения незначительны по сравнению с запасами. При очистке рек (а эти мероприятия активно проводятся в Белгородской области) углерод донных отложений снова может попасть в атмосферу. Условно примем ежегодную аккумуляцию углерода водными объектами в 50 тыс. т. Количественные оценки данного пути фиксации углерода должны получить эмпирическое обоснование.

Таким образом, поглотительную способность земель «резервного фонда» Белгородской области можно оценить в 929,7 тыс. т CO_2 в год. Подводя итог предварительной оценке секвестрационного потенциала экосистем Белгородской области, отметим сложность учета структуры рассматриваемых угодий. Это определяет необходимость разработки регионального кадастра углерод-депонирующей способности природных и природно-антропогенных территорий, который имеет большое значение для разрабатываемой системы регионального мониторинга углеродного баланса. В данной оценке остались неучтенными 514,1 тыс. га территории области. В эти земли входят территории населенных пунктов и объекты транспортной инфраструктуры 131,2 тыс. га, которые являются эмитентами CO_2 . Кроме того, не учтена часть агроландшафтов (преимущественно овражно-балочной сети). Всего остались неучтенными менее 15% территории, углеродный статус которых должен быть идентифицирован.

Поглощение CO₂ различными категориями земель Белгородской области

Категория земель	Учитываемая площадь, тыс. га	Удельное поглощение, т CO ₂ /га в год	Поглощение CO ₂ в год, тыс. т
Лес	332,0	5,72	1900
Многолетняя пашня	1505,1	0,83	1250
Лесонасаждения в рамках проекта «Зеленая столица»	100,3	4,59	460
Залежи	145,3	1,65	240
Заброшенные населенные пункты	19,2	5,08	97,7
Прочие земли	35,9	1,83	65,8
Болота	29,9	1,76	52,6
Водные объекты	25,1	1,99	50,0
Нарушенные земли	6,5	2,22	14,4
Итого	2199,3	1,88	4130,5
Неучтенные земли	514,1		
Общая площадь области	2713,4		

В таблице представлена структура секвестрационного потенциала Белгородской области в отношении CO₂.

Согласно требованиям МГЭИК, учитываются только управляемые леса и территории, официально отнесенные к климатическим проектам, т.е. регулируемые в отношении баланса углерода. На данный момент в регионе это только земли гослесфонда – 230,8 тыс. га, которые поглощают 1,32 млн т CO₂ в год, т.е. около 4% антропогенных выбросов. Остальные «поглощающие» территории должны получить соответствующее научное обоснование.

В так называемом резервном фонде в первую очередь надо «взять на баланс» лесонасаждения, сформированные в ходе реализации проекта «Зеленая столица», постагрогенные земли (залежи) и земли исчезнувших населенных пунктов. Эти и другие территории, на которых реализуются сценарии природного воспроизводства почвенно-растительного покрова, могут получить правовой статус зон экологической компенсации, в отношении которых должны проводиться управляющие воздействия, в первую очередь, мониторинг углеродного баланса и результативности процессов ресурсовоспроизводства.

На данный момент установлено, что экосистемы области поглощают не менее 4,1 млн т CO₂ в год, что составляет около 12% от уровня антропогенной эмиссии. Уточнение полученных оценок должно проводиться в отношении структуризации углерод-секвестрирующих площадей, а также в отношении экспериментального

обоснования темпов связывания углерода в различных депонирующих средах (в первую очередь, в фитомассе, почвах и донных отложениях).

Заключение

Предварительный учет прямых выбросов CO₂ на территории Белгородской области показал, что на 1 га ее территории приходится 13,11 т антропогенного CO₂ в год. Такая нагрузка не может быть компенсирована никакими природными секвестрационными процессами, поскольку среднее удельное поглощение составляет около 2 (0,83–5,72) т CO₂/га в год. Такой уровень поглощения CO₂ характерен, например, для постагрогенных почв (залежей) или болот. Леса закономерно имеют наиболее высокую поглотительную способность.

Экосистемы Белгородской области обеспечивают секвестрацию не более 12% эмиссии.

Лесная растительность области обеспечивает 46% секвестрационного потенциала экосистем региона. В перспективе ее доля будет возрастать.

При современном уровне природопользования Белгородская область не может стать углерод-нейтральным регионом. При рациональном использовании отходов животноводства, применении технологий регенеративного земледелия углерод-нейтральным может стать только сельское хозяйство региона.

Не имея существенных возможностей снизить «углеродный след», регион может преуспеть в ведении мониторинга углерод-

ного баланса территории (создание сети карбоновых полигонов).

Внедрение природоподобных и ренатурационных технологий экологической реабилитации антропогенно нарушенных геосистем позволит наращивать секвестрационный потенциал региона и в любом случае даст положительный экологический эффект.

Список литературы

1. Седьмое национальное сообщение Российской Федерации, представленное в соответствии со статьями 4 и 12 Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата и статьей 7 Киотского протокола / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. М., 2017. 348 с.
2. Постановление Губернатора Белгородской области от 25 апреля 2022 года N 69 «Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетики Белгородской области на 2023-2027 годы» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/406031055?marker>. (дата обращения: 14.10.2023).
3. Мамонтов А.Ю. Энергетический баланс Белгородской области // Главный энергетик. 2020. № 3. С. 35-38.
4. Постановление Губернатора Белгородской области от 22 апреля 2022 года N 56 «Об утверждении целевого прогнозного топливно-энергетического баланса Белгородской области на период до 2025 года с оценкой до 2030 года» [Электронный ресурс]. URL: <https://belregion.ru/upload/iblock/5b5/56.pdf>. (дата обращения: 14.12.2023).
5. Национальный доклад РФ о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2010 гг. М., 2012.
6. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2020 гг. / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет); Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Изraelя». М., 2022. 468 с.
7. Металлоинвест. Эволюция современной металлургии. Отчет об устойчивом развитии 2020 [Электронный ресурс]. URL: https://www.metalloinvest.com/upload/iblock/7cf/metalloinvest_csr_report_2020.pdf. (дата обращения: 04.10.2023).
8. Коробова О.С., Михина Т.В. Инвентаризация выбросов парниковых газов при производстве цемента // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № S3. С. 253-265.
9. РД-АПК 1.10.01.01-18. Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота» (утв. и введены в действие Минсельхозом России 01.09.2018) [Электронный ресурс]. URL: <https://mcs.gov.ru/upload/iblock/3de/3de2633b68ff3bb0eada4571150aebef.pdf>. (дата обращения: 14.10.2023).
10. Романовская А.А. Основы мониторинга антропогенных эмиссий и стоков парниковых газов (CO₂, N₂O, CH₄) в животноводстве, при сельскохозяйственном землепользовании и изменении землепользования в России: автореф. дисс. ... докт. биол. наук. Москва, 2008. 42 с.
11. Лукин С.В. Многолетняя динамика плодородия пахотных почв Белгородской области // Агрехимический вестник. 2013. № 4. С. 54-56.
12. Национальный атлас почв Российской Федерации / Гл. ред. чл.-корр. РАН С.А. Шоба. М.: Астель, 2011. 632 с.
13. Статистический ежегодник. Белгородская область. 2021: Стат. сб. / Белгородстат. Белгород, 2021. 508 с.
14. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Белгородской области в 2020 году / Правительство Белгородской области; Департамент агропромышленного комплекса и воспроизводства окружающей среды. Белгород, 2021. 247 с.
15. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Белгородской области в 2021 году / Правительство Белгородской области; Министерство природопользования Белгородской области. Белгород, 2022. 233 с.
16. Дегтярь А.В., Григорьева О.И. Изменение лесистости Белгородской области за 400-летний период // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 42, № 4. С. 574–586.
17. Малышева Н.В., Моисеев Б.Н., Филипчук А.Н., Золина Т.А. Методы оценки баланса углерода в лесных экосистемах и возможности их использования для расчетов годичного депонирования углерода // Лесной вестник. 2017. Т. 21, № 1. С. 4-13.
18. Корзухин М.Д., Коротков В.Н. Модификация модели РОБУЛ для расчета углеродного баланса лесов России // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. Т. 3. С. 30-53.
19. Филипчук А.Н., Малышева Н.В., Моисеев Б.Н., Страхов В.В. Аналитический обзор методик учета выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы // Лесохозяйственная информация: электронный сетевой журнал. 2016. № 3. С. 36–85.
20. Терехин Э.А. Изменение лесистости овражно-балочных систем юга Среднерусской возвышенности за последние десятилетия // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2018. Т. 42, № 2. С. 223–230.
21. Лесоуглеродный ресурс Беларуси / под общ. ред. Л.Н. Рожкова, И.В. Войтова, А.А. Кулика. Минск: БГТУ, 2018. 247 с.
22. Бабиков Б.В., Кобак К.И. Поглощение атмосферного углекислого газа болотными экосистемами территории России в голоцене. Проблемы заболачивания // Лесной журнал. 2016. № 1. С. 9-36.
23. Доклад о состоянии и использовании земель Белгородской области за 2019 год / под ред. Александровой Л.В. Белгород: Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Белгородской области, 2020. 95 с.
24. Стаценко Е.А. Планирование объектов экологического каркаса в структуре землеустройства Белгородской области: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Белгород: Изд-во БелГУ, 2012. 23 с.
25. Юдина Ю.В., Украинский П.А. Болота Белгородской области // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: Материалы VI международной научной конференции; Белгород, 12-16 октября 2015 года. Белгород: Полиterra, 2015. С. 342-349.
26. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.
27. Географический атлас Белгородской области: природа, общество, хозяйство / отв. ред. А.Г. Корнилов; Всероссийская общественная организация «Русское географическое общество»; Белгородский государственный национальный исследовательский университет. Белгород: Константа, 2018. 199 с.
28. Лукин С.В. Влияние биологизации земледелия на плодородие почв и продуктивность агроценозов (на примере Белгородской области) // Земледелие. 2021. № 1. С. 11–15.
29. Голуусов П.В. Концепция ренатурации антропогенно нарушенных геосистем: методологические и прикладные аспекты // Фундаментальные исследования. 2014. № 11-3. С. 556-564.

30. Голушов П.В., Лисецкий Ф.Н. Воспроизводство почв в антропогенно нарушенных ландшафтах лесостепи. М.: ГЕОС, 2009. 210 с.
31. Артищев В.Е., Голушов П.В. Постселитебные геосистемы Белгородской области: физико-географическая характеристика и перспективы экологической реабилитации // Успехи современного естествознания. 2016. № 11-2. С. 334-338.
32. Goleusov P.V., Smirnova L.G., Martsinevskaya L.V., Kuharuk N.S. Evaluation of Carbon Assimilation by Regenerating Soils of the Central Black Earth Region of Russia // Research Journal of Applied Sciences. 2015. № 10(8). P. 415-418.
33. Китов М.В., Григорьева О.И., Цапков А.Н. О результатах оценки площади залежных земель в Белгородской области // Степной бюллетень. 2016. № 46. С. 29-35.
34. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Белгородской области в 2019 году / Правительство Белгородской области; Департамент агропромышленного комплекса и воспроизводства окружающей среды. Белгород, 2020. 217 с.
35. Доклад о состоянии и использовании земель Белгородской области за 2020 год / под ред. Александровой Л.В. Белгород: Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Белгородской области, 2021. 87 с.
36. Савенко В.С., Самсонов А.Л. Новый механизм поглощения углерода. Отыскание missing sink // Моделирование коэволюции природы и общества: проблемы и опыт. К 100-летию со дня рождения академика Н.Н. Моисеева: Труды Всероссийск. научн. конф. Москва: ФИЦ ИУ РАН, 2017. С. 270-381.