

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ЛАНДШАФТОВ К ДЕПОНИРОВАНИЮ УГЛЕРОДА В РАЙОНЕ ОБЪЕКТОВ ООО «ГАЗПРОМ ДОБЫЧА ОРЕНБУРГ»

*К.В. Мячина¹, С.А. Дубровская¹, Р.В. Ряхов¹, А.Н. Щавелев¹, П.Н. Ларёв²,
Т.В. Лебедянцева², **А.В. Бахтин²

¹Институт степи УрО РАН, Россия, Оренбург

²ООО «Газпром добыча Оренбург», Россия, Оренбург

e-mail: *mavicsen@gmail.com, **a.bahtin@gdo.gazprom.ru

В статье приводятся результаты периодического мониторинга концентрации парникового газа диоксида углерода и содержания почвенного органического вещества на ключевых участках в районе объектов ООО «Газпром добыча Оренбург». Параллельно, на основе данных дистанционного зондирования, рассчитывался показатель депонирования углерода ландшафтами. Установлено, что на участках с техногенным воздействием не выявляются существенные отклонения основных метео- и агрометеопараметров и концентрации диоксида углерода по сравнению с эталонными ландшафтами. Результаты классификации территории по значениям показателя депонирования углерода также не демонстрируют его значимых изменений под влиянием нефтегазодобывающей деятельности. Инвентаризация поглотительной способности ландшафтов в отношении диоксида углерода позволила выявить закономерности ее пространственной динамики с выделением четырех природно-антропогенных зон.

Ключевые слова: ландшафты степной зоны, ООО «Газпром добыча Оренбург», парниковые газы, диоксид углерода, потенциал депонирования, классификация и инвентаризация ландшафтов.

Введение

Антропогенная деятельность изменила циркуляцию вещества и энергии в мировой экосистеме, вызвав, в том числе, нарушение цикла углерода [1, 2, 3]. Диоксид углерода (CO₂) является одним из основных парниковых газов, усиливающих эффект температурных изменений в атмосфере. Полностью ограничить выбросы диоксида углерода в ближайшее время невозможно, поэтому проблема, связанная с поглотительным потенциалом экосистем, приобретает все большую актуальность во всем мире. Выявление депонирующей способности компонентов экосистем в отношении диоксида углерода и изучение цикла углеродсодержащих газов в различных природных и антропогенных условиях являются первоочередными эколого-экономическими задачами нашего времени.

Показатели эмиссии CO₂ обусловлены, в основном, такими факторами, как природно-климатические условия местности и типы антропогенной нагрузки. От указанных особенностей зависят температура и влажность почвы, состав микроорганизмов в почвенном слое, особенности развития растительного покрова и иные параметры локальной экосистемы [4, 5, 6]. По мнению специалистов Всемирного центра мониторинга и охраны природы Программы ООН по окружающей среде (UNEP-WCMC), поглощение диоксида углерода растительной биомассой, возможно, является единственным устойчивым способом регулирования и сокращения атмосферного CO₂; при этом до 89 % углерода, секвестрируемого растениями, переходит в состав почвы [7].

Рост атмосферных концентраций парниковых газов обуславливает необходимость тщательной оценки их запасов и потоков. Последние наиболее неопределенны и требуют проведения детальных исследований для возможности выявления основных региональных

зависимостей поглощения и эмиссии диоксида углерода в экосистемах различных природных зон.

В географическом отношении территория исследования расположена в подзоне северных степей Европейской части России [8], а согласно геоботаническому районированию – к Евроазиатской степной области Казахской провинции типчаково-ковыльных степей [9, 10]. Цель работы – выполнить анализ потенциала степных ландшафтов в районе объектов ООО «Газпром добыча Оренбург» к депонированию углерода.

Материалы и методы

Объектами исследования выбраны ландшафты в районе трех объектов ООО «Газпром добыча Оренбург»: дожимной компрессорной станции (ДКС)-2, установки комплексной подготовки нефти (УКПГ)-10, УКПГ-14. Выделено и обследовано шесть ключевых участков (КУ) (2023-2024 гг.), составивших пары «природно-техногенная геосистема (ПТГ) – эталон», административно расположенные в границах Оренбургского и Переволоцкого районов Оренбургской области (табл. 1).

Таблица 1 – Краткая характеристика ключевых участков

Ключевой участок	Год начала разработки	Средняя высота н.у.м., м	Преобладающие типы ландшафтов, растительности и почв	Структура землепользования
1	2	3	4	5
Степной участок (на юго-запад от ДКС-2 250 м)	-	94	Придолинный плакор; разнотравье и древесно-кустарниковая растительность, черноземы южные остаточного луговатые глинистые и тяжелосуглинистые	Земли сельскохозяйственного назначения (залежь)
ДКС-2, Оренбургский район	1988	92	Придолинный плакор, сильно нарушенный участок, сорные однолетние и двулетние травы, черноземы южные остаточного луговатые глинистые и тяжелосуглинистые	Земли промышленного назначения
УКПГ-14, Переволоцкий район	1978	101	Пойменно-террасовый комплекс р. Урал (правый берег), растительный покров значительно разрежен, сорные однолетние и двулетние травы; черноземы южные тяжелосуглинистые	Земли промышленного назначения
Степной участок (на северо-запад от УКПГ-14 400 м), Переволоцкий район	-	136	Сырцово-холмистый район, край лесополосы; ассоциации ковыли и разнотравных сообществ; черноземы южные тяжелосуглинистые	Земли сельскохозяйственного назначения (залежь)
УКПГ-10, Оренбургский район	1978	117	Притеррасная часть придолинного плакора, пологий склон северной экспозиции; типчаково-ковыльная растительность; черноземы южные карбонатные маломощные глинистые и тяжелосуглинистые	Земли сельскохозяйственного назначения (залежь)

1	2	3	4	5
Степной участок (на запад от УКПГ-10 960 м)	-	127	Притеррасная часть придолинного плакора, пологий склон северной экспозиции; типчаково-ковыльная растительность; черноземы южные карбонатные маломощные глинистые и тяжелосуглинистые	Примыкают участки пахотных угодий, которые используются по схеме севооборота (пашня-пар-залежь)

Обследование природно-техногенных и парных им эталонных ландшафтов проводилось параллельно: в одно и то же время суток, при отсутствии осадков, при единых скорости ветра и степени облачности.

В ходе полевых выездов на ключевые пары участков замерялась концентрация диоксида углерода в воздухе в различное время суток в открытых воздушных потоках и в закрытых камерах объемом 0,06 м³ (рис. 1).



Рисунок 1 – Закрытая герметичная камера объемом 0,06 м³ с внутренним вентилятором для измерения скорости эмиссии диоксида углерода

Сначала измерялась скорость эмиссии диоксида углерода при наличии растительного покрова внутри камер, затем вся надземная часть фитомассы убиралась, и замер повторялся после проветривания камеры.

В соответствии с доказанной корреляцией метеопараметров и объема эмиссии углерода [11, 12] измерялись сопутствующие метео- и агрометеопараметры: скорость ветра, степень облачности, температура воздуха, температура почвы, относительная влажность воздуха, относительная влажность почвы. Производился отбор и анализ проб почвы на содержание органического вещества в точках измерений концентраций CO₂. На основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) проанализирован показатель депонирования углерода (ПДУ) и выполнено его масштабирование на ландшафты, находящиеся под воздействием Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ОНГКМ). В заключение выполнены классификация и инвентаризация указанных ландшафтов по уровню поглотительного потенциала.

Результаты и обсуждение

В результате замеров метео- и агрометеопараметров на эталонном и техногенном участках выявлены следующие особенности: на одной паре площадок ключевых участков УКПГ-14 наблюдается повышенная относительно эталона температура воздуха в ПТГ при каждом измерении (разница составляет до 6°); не выявлены закономерности в изменении влажности воздуха и температуры на участках ПТГ по сравнению с эталонными; на площадке ПТГ ДКС-2 наблюдается пониженная относительно эталона влажность почвы (до 7 %), в то время как на площадке ПТГ УКПГ-10 влажность почвы, наоборот, повышена (до 20 %). Возможно, это связано с процессами самовосстановления растительного покрова.

При измерении газов в открытых потоках воздуха в осенний период 2023 г. на паре площадок ключевых участков УКПГ-14 отмечена незначительная концентрация диоксида углерода, приближенная к фоновой и составляющая 0,04 % объемных; на ключевом участке УКПГ-10 концентрация диоксида углерода на площадке ПТГ составила 0,087 % объемных. На ключевом участке ДКС-2 концентрация диоксида углерода не превысила фоновую. Возможно, это объясняется достаточно высокой скоростью ветра и низкой температурой почвы и воздуха, что приводит к замедлению процессов почвенного дыхания. В ходе измерений в вегетационный период 2024 г. не отмечено изменений концентрации диоксида углерода на техногенных участках по сравнению с эталонами. Если даже эмиссия на них и возрастает, то этот эффект сглаживается воздушным переносом (как и в случае с метеопараметрами).

При измерении концентрации диоксида углерода в закрытых камерах с растительностью на ключевом участке УКПГ-14 ее показатели были в большинстве случаев выше на площадках с ПТГ (превышение значений эталона до 3 раз). Таким образом, отсутствие и разреженность растительного покрова на площадках с ПТГ способствуют повышенной в сравнении с эталонными площадками эмиссии углерода. В то же время, на площадках ДКС-2 и УКПГ-10 разницы показателей концентрации диоксида углерода практически не отмечено, что свидетельствует о некотором восстановлении нарушенного растительного покрова на УКПГ-10 и, вероятно, о начале восстановительных процессов на участке ПТГ ДКС-2 (или об изначально более низкой степени трансформации верхнего слоя почвы и наземной фитомассы).

При измерении концентрации диоксида углерода в закрытых камерах с удаленной наземной частью растительного покрова разница концентраций на техногенном и эталонном участке отмечается только для ключевого участка УКПГ-14. При замере в течение 10 мин скорость эмиссии не меняется даже в условиях удаленного растительного покрова.

Во всех пробах содержание органического вещества соответствует нормам для южных маломощных черноземов с низкой и средней обеспеченностью гумусом, образовавшейся вследствие недостаточности запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы [13, 14]. Результаты анализа почвенных проб на содержание органического вещества, отобранные на всех ключевых участках, показали тенденцию снижения массовой доли органического вещества на площадках с ПТГ относительно эталонных. Наиболее заметно это снижение на двух ключевых участках площадки УКПГ-10 (почти в 2 раза). Соответственно, на площадках с ПТГ снижены запасы почвенного углерода. При этом явных изменений скорости и объема эмиссии диоксида углерода на участках с ПТГ ДКС-2 и УКПГ-10 не выявлено. Таким образом, не прослеживается прямая взаимосвязь между снижением содержания органического вещества в почве и возрастанием эмиссии.

Для расчета показателя депонирования диоксида углерода площадки ОНГКМ (и дополнительно окружающей территорией) использовались доступные специализированные продукты ДЗЗ за период с 2001 по 2021 гг. (рис. 2А). Помимо визуализации пространственного распределения показателя депонирования углерода, визуализировано его изменение во времени путем расчета трендов значений за указанный период (рис. 2Б).

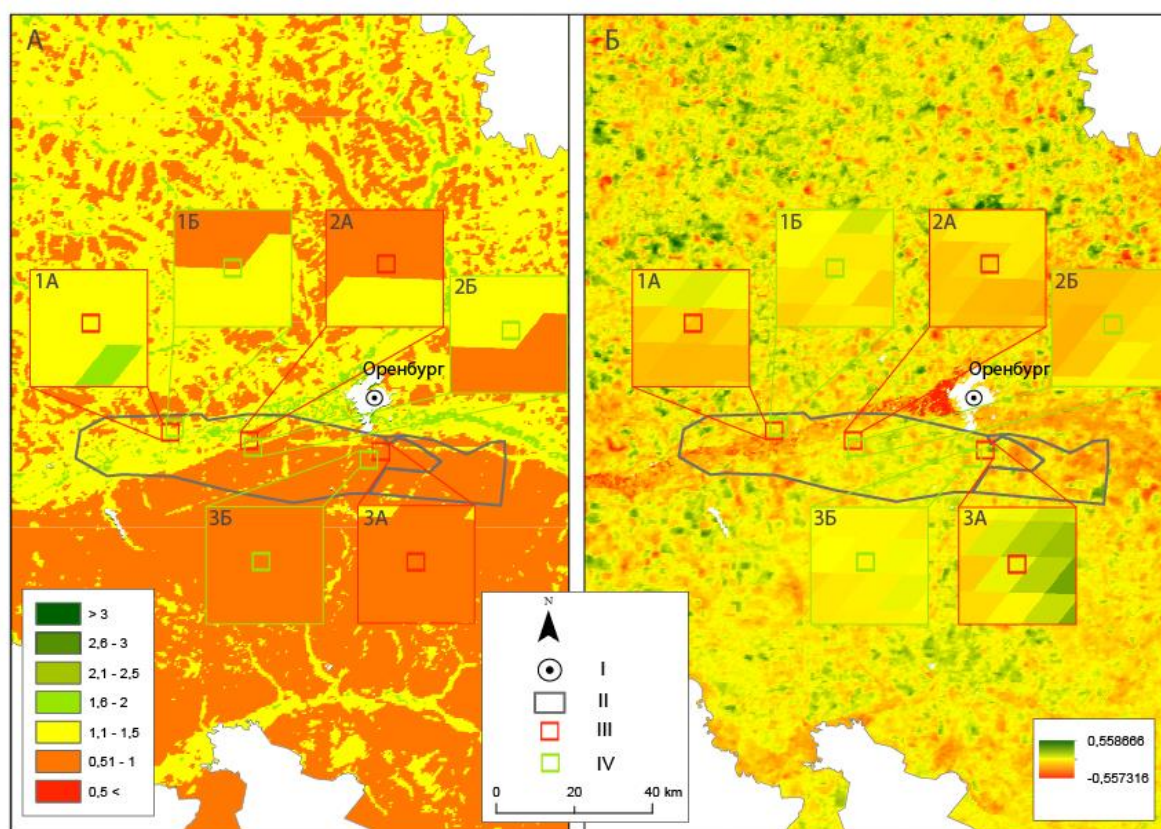


Рисунок 2 – Изменения показателя депонирования углерода ($\text{кгС/м}^2/\text{год}$) в пространстве (слева) и во времени (справа), где градуированная цветная шкала от зеленого к красному цвету демонстрирует значения показателя депонирования углерода (слева) и тренд его изменения (справа)

Условные обозначения: I – населенные пункты, II – граница зоны ОНГКМ, III – ключевые участки с техногенным воздействием, IV – ключевые участки с эталонным ландшафтом; 1А – КУ УКПГ-14 эталонный, 1Б – КУ УКПГ-14 с ПТГ, 2А – КУ ДКС-2 эталонный, 2Б – КУ ДКС-2 с ПТГ, 3А – КУ УКПГ-10 эталонный, 3Б – КУ УКПГ-10 с ПТГ.

На выносках 1А, 1Б, 2А, 2Б, 3А, 3Б (рис. 2А) на более высоком уровне масштабной географической шкалы не прослеживается явной закономерности изменения ПДУ в ландшафтах на участках с ПТГ по сравнению с эталонными. Значение ПДУ на всех участках колеблется в диапазоне от 0,51 до 1,5 $\text{кг С/м}^2/\text{год}$, и лишь часть сельскохозяйственного надела демонстрирует более высокий ПДУ – до 2 $\text{кг С/м}^2/\text{год}$ (на свежих сельскохозяйственных участках депонирование углерода повышено относительно соседних земель промышленного назначения, долговременных залежей и засеваемых полей, находящихся в обороте [15]). Не отмечается значимой разницы в трендах изменений ПДУ на ключевых участках с ПТГ и эталонными ландшафтами (рис. 2Б). Масштабированная на окружающие ландшафты оценка показателя депонирования углерода (рис. 2) позволяет утверждать, что указанный показатель зависит в первую очередь от природно-географических условий (типы степной подзоны, растительности, почв и пр.). Точечное влияние объектов нефтегазодобычи не вносит значимых преобразований.

Далее проведена классификация ландшафтов ОНГКМ на основе интегральной оценки показателя депонирования углерода и его концентрации в атмосфере. Интегральная оценка выполнялась путем математических операций с растровыми слоями показателя поглощения углерода и показателя его концентрации в атмосфере. Принцип выполнения интегральной оценки базировался на допущении, что зоны, сочетающие максимальные показатели поглощения с минимальными показателями концентрации диоксида углерода в воздухе, являются наиболее значимыми с точки зрения депонирования углерода. Полученная

интегральная карта, классифицирующая исследуемые ландшафты по уровню поглотительного потенциала в отношении диоксида углерода, приведена на рисунке 3.

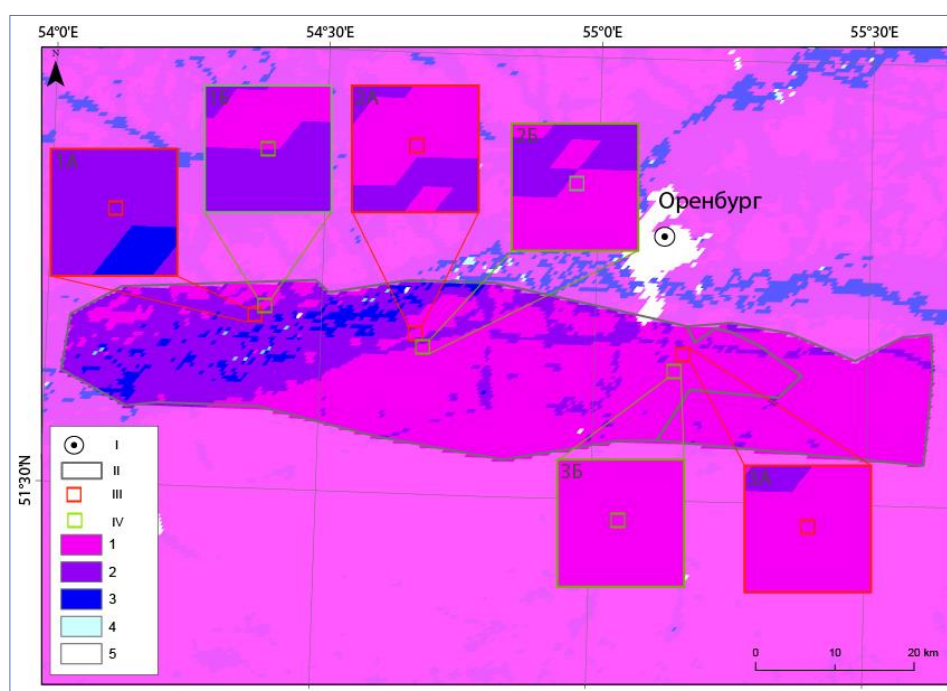


Рисунок 3 – Классификация ландшафтов ООО «Газпром добыча Оренбург» (и окружающей территории) по уровню поглотительного потенциала в отношении диоксида углерода

Условные обозначения: I – населенные пункты, II – граница зоны ООО «Газпром добыча Оренбург», III – ключевые участки с техногенным воздействием, IV – ключевые участки с эталонным ландшафтом; 1...5 – классы ландшафтов, выделенные по уровню поглотительного потенциала; 1А – КУ УКПГ-14 эталонный, 1Б – КУ УКПГ-14 с ПТГ, 2А – КУ ДКС-2 эталонный, 2Б – КУ ДКС-2 с ПТГ, 3А – КУ УКПГ-10 эталонный, 3Б – КУ УКПГ-10 с ПТГ.

В результате работы с интегрированным изображением выделены 5 классов, характеризующихся следующим образом:

- 1-й класс ($S = 1169,64 \text{ км}^2$) – существенное превалирование эмиссии над поглощением (наименее значимые с точки зрения депонирования ландшафты);
- 2-й класс ($S = 551,308 \text{ км}^2$) – ландшафты с незначительным преобладанием эмиссии над поглощением;
- 3-й класс ($S = 69,2816 \text{ км}^2$) – срединные значения без явного преобладания одного из показателей;
- 4-й класс ($S = 2,37019 \text{ км}^2$) – превалирование депонирования над эмиссией;
- 5-й класс ($S = 1,64026 \text{ км}^2$) – безразмерные значения, присущие объектам городской инфраструктуры и крупным водным объектам.

Территории ключевых участков относятся к 1 и 2 классам, то есть в местах их размещения эмиссия диоксида углерода превышает его улавливание и накопление. Однако, судя по всему, это не является следствием функционирования нефтегазодобывающих объектов, а объясняется географическими и климатическими особенностями территории, а также ее использованием в ходе иного вида хозяйственной деятельности (аграрное производство). Зоны, в которых депонирование углерода преобладает над его эмиссией, в совокупности занимают лишь 0,15 % территории, показанной на рисунке 3.

Для инвентаризации ландшафтов как потенциальных пулов, аккумулирующих углерод в районе объектов ООО «Газпром добыча Оренбург», использованы результаты расчета разновременных трендов показателя депонирования (за 1 год, 5 лет, 10 лет, 20 лет). Результаты

расчета трендов ранжировались методом естественных границ на три ранга (положительный, отсутствующий и отрицательный тренды), после чего ранги были совмещены в рамках интегральной картосхемы (рис. 4). Территории с околонулевой динамикой на картосхеме не обозначались.

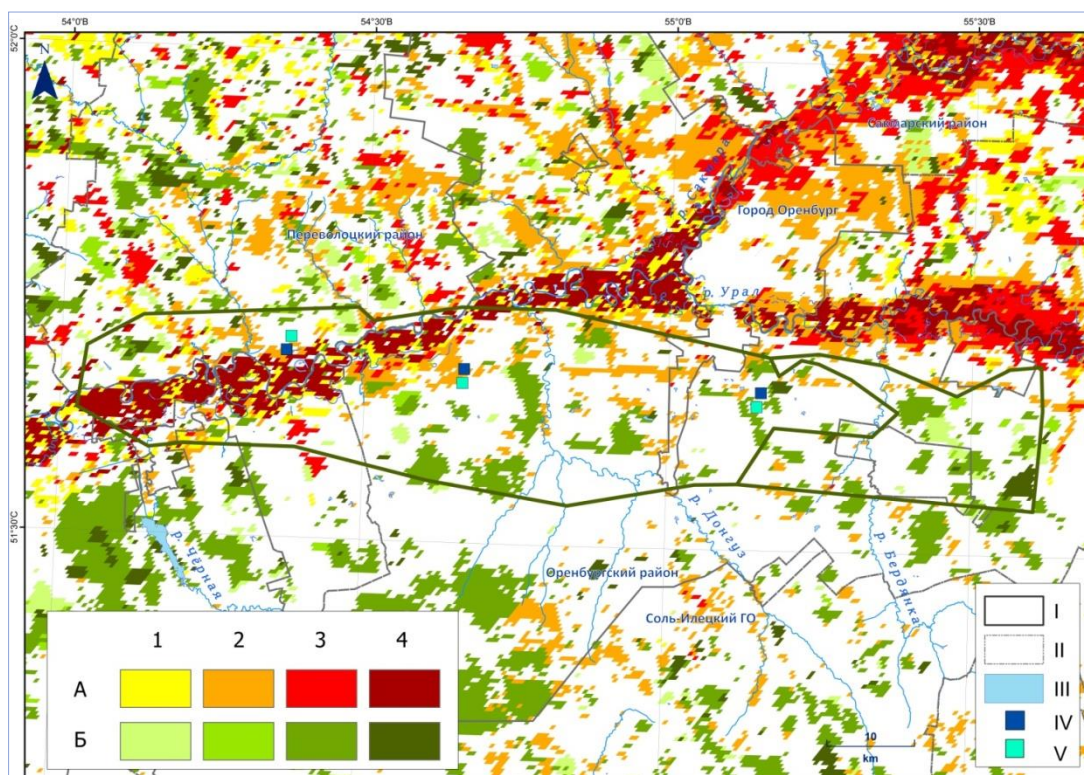


Рисунок 4 – Разновременные тренды пространственной динамики содержания углерода в ландшафтах ООО «Газпром добыча Оренбург» (и окружающей территории)

Условные обозначения: 1А – однолетний отрицательный тренд, 2А – пятилетний отрицательный тренд, 3А – десятилетний отрицательный тренд, 4А – двадцатилетний отрицательный тренд, 1Б – однолетний положительный тренд, 2Б – пятилетний положительный тренд, 3Б – десятилетний положительный тренд, 4Б – двадцатилетний положительный тренд, I – граница ОНГКМ, II – административно-территориальное деление, III – водные объекты, IV – ключевые участки с техногенным воздействием, V – ключевые участки с эталонным ландшафтом.

По результатам анализа пространственного распределения рангов положительных и отрицательных трендов территория исследования в районе объектов ООО «Газпром добыча Оренбург» дифференцирована нами на четыре природно-антропогенные зоны, соответствующие водораздельным пространствам (междуречьям) рек Урала и Самары, рек Черная и Донгуз, рек Донгуз и Бердянка, рек Бердянка и Буртя:

1 - в пределах водораздельного пространства Урало-Самарского междуречья положительная динамика содержания чистого углерода в ландшафтах прослеживается в пределах сельскохозяйственных ландшафтов, примыкающих к техногенным объектам ОНГКМ (либо их непосредственно включающих). Прослеживается динамика расширения участков накопления углерода от центральных ядер 20-летнего положительного тренда с уменьшением длительности от центра к периферии. Положительные значения (рост ПДУ) сконцентрированы преимущественно в пределах выположенных возвышенных территорий увалистых сыртов. Отрицательные значения годовых, пятилетних и десятилетних трендов приурочены к прибалочным склонам крупных эрозионных врезов и примыкающим к ним участкам защитных государственных лесных полос. Наиболее длительные отрицательные тренды относятся к фрагментам пойменного леса реки Урал;

2 - в пределах водораздельного пространства рек Черная и Донгуз положительная динамика ПДУ выявлена на участках сельскохозяйственного назначения, примыкающих к техногенным объектам ОНГКМ, расположенных по склону восточной экспозиции водосборного бассейна р. Донгуз. Здесь представлен десятилетний положительный тренд при полном отсутствии более длительных трендов. Наиболее длительные негативные тренды относятся к фрагментам пойменного леса реки Урал. Десятилетние отрицательные тренды относятся в основном к территориям населенных пунктов и участкам интенсивного сельскохозяйственного использования (агроландшафты с высокой активностью и фрагментарностью). В последние годы негативный тренд активно проявляется в пределах защитных государственных лесных полос;

3 - в пределах водораздельного пространства рек Донгуз и Бердянка положительная динамика содержания чистого углерода прослеживается в пределах сельскохозяйственных ландшафтов, примыкающих к техногенным объектам ОНГКМ, и представлена, в основном, десяти- и двадцатилетними трендами. Для более коротких периодов положительная динамика носит точечный характер. Негативные двадцатилетние тренды в пределах зоны не наблюдаются. Основной массив отрицательных значений определяется в пределах пятилетнего периода и относится к участкам защитных государственных лесных полос и фрагментам сельскохозяйственных земель, затронутых активизацией эрозионных процессов;

4 - в пределах водораздельного пространства рек Бердянка и Буртя участок ОНГКМ отличается наибольшей суммарной площадью ландшафтов, способствующих накоплению углерода. Относительная площадь отдельных участков (особенно с положительными двадцатилетними трендами) значительно крупнее, чем в других зонах. Положительная динамика прослеживается в пределах сельскохозяйственных ландшафтов, примыкающих к техногенным объектам ОНГКМ, и имеет вектор увеличения значений в сторону Урало-Илекского водораздела и проходящей по нему административной границе муниципальных образований. Отрицательные значения фрагментарно определяются в пределах пятилетнего периода и относятся к участкам защитных государственных лесных полос.

Выводы

На выделенных ключевых участках с техногенным воздействием объектов ООО «Газпром добыча Оренбург» не зафиксировано значимых изменений измеренных метео- и агрометеопараметров и концентрации диоксида углерода по сравнению с эталонными ландшафтами. При этом содержание органического углерода в почве на участках с техногенным воздействием снижено.

Установлены следующие тенденции изменения показателя депонирования углерода на территории исследования:

- наиболее заметно теряют углерод участки пойменного леса р. Урал и защитных государственных лесных полос, что, вероятно, связано с деградацией старовозрастного леса и снижением его улавливающей и удерживающей способности параллельно с ростом потоков эмиссии;

- интенсификация сельскохозяйственного производства и расширение территорий застройки населенных пунктов являются ведущими антропогенными факторами, приводящими к потере углерода ландшафтами;

- участки положительных трендов достаточно часто коррелируют с территориями высокой плотности техногенных объектов, что связано с изменением интенсивности сельскохозяйственной нагрузки;

- территории наиболее продолжительных положительных значений ПДУ распределены преимущественно по периферии зоны ОНГКМ, что обусловлено прежде всего затрудненной транспортной логистикой и удаленностью участков от сельских населенных пунктов. Это приводит к снижению интенсивности хозяйственного использования территории и способствует формированию условий для накопления углерода в ландшафтах.

Масштабированная на ландшафты в районе объектов ООО «Газпром добыча Оренбург» оценка показателя депонирования углерода позволяет утверждать, что указанный показатель зависит в первую очередь от природно-географических условий (тип степной подзоны, растительности, почв и пр.). Точечное влияние объектов нефтегазодобычи не оказывает значимого влияния на показатель депонирования.

Список литературы

1. Gleckler P.J., Durack P.J., Stouffer R.J., Johnson G.C., Forest C.E. Industrial-era global ocean heat uptake doubles in recent decades // *Nature Climate Change*. 2016. Vol. 6. No. 4. P. 394-398. DOI: 10.1038/nclimate2915.
2. Guo D., Wang J., Fu H., Wen H., Luo Y. Cropland has higher soil carbon residence time than grassland in the subsurface layer on the Loess Plateau, China // *Soil and Tillage Research*. 2017. Vol. 174. P. 130-138. DOI: 10.1016/j.still.2017.07.003.
3. Lewis S.L., Maslin M.A. Defining the Anthropocene // *Nature*. 2015. Vol. 519(7542). P. 171-180. DOI:10.1038/nature14258.
4. Махныкина А.В., Прокушкин А.С., Меняйло О.В., Верховец С.В., Тычков И.И., Урбан А.В., Рубцов А.В., Кошурникова Н.Н., Ваганов Е.А. Влияние климатических факторов на эмиссию CO₂ из почв в среднетаежных лесах центральной Сибири: эмиссия как функция температуры и важности почвы // *Экология*. 2020. № 1. С. 51-61. DOI: 10.31857/S0367059720010060.
5. Manyailo O., Huwe B.C. N-mineralization and denitrification as function of temperature and water potential in organic and mineral horizons of forest soil // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 1999. Vol. 162. P. 527-531.
6. Raich J.W., Schlesinger W.H. The global carbon-dioxide flux in soil respiration to vegetation and climate // *Tellus. Series B*. 1992. Vol. 44 (2). P. 81-99. DOI: 10.1034/j.1600-0889.1992.t01-1-00001.x.
7. Eze S., Palmer S.M., Chapman P.J. Soil organic carbon stock in grasslands: Effects of inorganic fertilizers, liming and grazing in different climate settings // *Journal of Environmental Management*. 2018. Vol. 223. P. 74-84. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.06.013.
8. Чибилев А.А., Дебело П.В. Ландшафты Урало-Каспийского региона. Оренбург: Институт степи УрО РАН, Печатный дом «Димур», 2006. 264 с.
9. Сафронова И.Н., Юрковская Г.Н., Микляева; Отв. ред. Огуреева Г.Н. Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий. М 1 : 8 000 000. М.: ЭКОР, 1999. С. 21-63. URL: <https://bigenc.ru/b/zony-i-tipy-poiasnosti-rasti-5a83f2> (дата обращения: 24.03.2025).
10. Лавренко Е.М. Принципы и единицы геоботанического районирования // *Геоботаническое районирование СССР*. М.; Л., 1947. С. 9-13.
11. Люри Д.И., Карелин Д.В., Кудиков А.В., Горячкин С.В. Изменение почвенного дыхания в ходе постагрогенной сукцессии на песчаных почвах в южной тайге // *Почвоведение*. 2013. № 9. С. 1060-1060. DOI: 10.7868/S0032180X13070058.
12. Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Щерба Т.Э., Шнырев Н.А. Абиотические факторы дыхания почв // *Экологический вестник Северного Кавказа*. 2010. № 6 (1). С. 5-14.
13. Почвенная карта Оренбургской области: 1986. М 1 : 600 000 / Волжский гос. проект. ин-т по землеустройству; Оренбург. филиал; Разработано О.А. Драницей, Г.П. Ковтун, под рук. А.Д. Баскакова, В.П. Меньшикова, при участии Е.В. Блохина, А.И. Климентьева; отв. ред. М.Г. Холина. М.: ГУГК, 1990. 3 л.
14. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. М 1 : 8 000 000 / И.С. Урусевская, И.О. Алябина, С.А. Шоба; под ред. И.С. Урусевской. Цифровая версия, 2019. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23173334> (дата обращения: 24.03.2025).

15. Дмитриев А.В., Леднёв А.В. Баланс углерода на постагрогенных дерново-подзолистых почвах // Вестник Российской академии наук. 2023. Т. 93. № 5. С. 445-455. DOI: 10.31857/S0869587323050031.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 14.04.2025

Принята к публикации 19.09.2025

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL OF NATURAL-ANTHROPOGENIC STEPPE GEOSYSTEMS FOR CARBON DEPOSIT IN THE AREA OF "GAZPROM DOBYCHA ORENBURG" LLC FACILITIES

***K. Myachina¹, S. Dubrovskaya¹, R. Ryakhov¹, A. Shchavelev¹, P. Laryov²,
T. Lebedyanceva², **A. Bakhtin²**

¹Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Orenburg

²"Gazprom Dobycha Orenburg" LLC, Russia, Orenburg

e-mail: *mavicsen@gmail.com, **a.bahtin@gdo.gazprom.ru

The article presents the results of periodic monitoring of the concentration of greenhouse gas – carbon dioxide, and the content of soil organic matter at key sites in the vicinity of the "Gazprom Dobycha Orenburg" LLC facilities. At the same time, based on remote sensing data, an indicator of carbon deposition by landscapes was calculated. In key areas with technogenic impact, no significant systemic deviations of the main meteorological and agro-meteorological parameters, and greenhouse gas concentrations were recorded compared to reference landscapes. The classification of the territory based on the carbon deposition index did not reveal significant changes due to oil and gas production. An inventory of landscape absorption capacity for carbon dioxide has revealed patterns in its spatial dynamics, with the identification of four environmental-anthropogenic zones.

Key words: landscapes of the steppe zone, "Gazprom Dobycha Orenburg" LLC, greenhouse gases, carbon dioxide, deposit potential, inventory and classification of landscapes.

References

1. Gleckler P.J., Durack P.J., Stouffer R.J., Johnson G.C., Forest C.E. Industrial-era global ocean heat uptake doubles in recent decades. *Nature Climate Change*. 2016. Vol. 6. No. 4. P. 394-398. DOI: 10.1038/nclimate2915.
2. Guo D., Wang J., Fu H., Wen H., Luo Y. Cropland has higher soil carbon residence time than grassland in the subsurface layer on the Loess Plateau, China. *Soil and Tillage Research*. 2017. Vol. 174. P. 130-138. DOI: 10.1016/j.still.2017.07.003.
3. Lewis S.L., Maslin M.A. Defining the Anthropocene. *Nature*. 2015. Vol. 519(7542). P. 171-180. DOI:10.1038/nature14258.
4. Makhnykina A.V., Prokushkin A.S., Menyailo O.V., Verkhovets S.V., Tychkov I.I., Urban A.V., Rubtsov A.V., Koshurnikova N.N., Vaganov E.A. Vliyanie klimaticheskikh faktorov na emissiyu SO₂ iz pochv v srednetaezhnykh lesakh tsentral'noi Sibiri: emissiya kak funktsiya temperatury i vazhnosti pochvy. *Ekologiya*. 2020. N 1. S. 51-61. DOI: 10.31857/S0367059720010060.
5. Menyailo O., Huwe B.C. N-mineralization and denitrification as function of temperature and water potential in organic and mineral horizons of forest soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 1999. Vol. 162. P. 527-531.

6. Raich J.W., Schlesinger W.H. The global carbon-dioxide flux in soil respiration to vegetation and climate. *Tellus. Series B.* 1992. Vol. 44(2). P. 81-99. DOI: 10.1034/j.1600-0889.1992.t01-1-00001.x.
7. Eze S., Palmer S.M., Chapman P.J. Soil organic carbon stock in grasslands: Effects of inorganic fertilizers, liming and grazing in different climate settings. *Journal of Environmental Management.* 2018. Vol. 223. P. 74-84. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.06.013.
8. Chibilev A.A., Debelo P.V. *Landshafty Uralo-Kaspiiskogo regiona.* Orenburg: Institut stepi UrO RAN, Pechatnyi dom "Dimur", 2006. 264 s.
9. Safronova I.N., Yurkovskaya G.N., Miklyayeva; Otv. red. Ogureeva G.N. *Zony i tipy poynosti rastitel'nosti Rossii i sopredel'nykh territorii. M 1 : 8 000 000.* M.: EKOR, 1999. S. 21-63. URL: <https://bigenc.ru/b/zony-i-tipy-poinosti-rasti-5a83f2> (data obrashcheniya: 24.03.2025).
10. Lavrenko E.M. *Printsipy i edinitsy geobotanicheskogo raionirovaniya.* Geobotanicheskoe raionirovanie SSSR. M.; L., 1947. S. 9-13.
11. Lyuri D.I., Karelin D.V., Kudikov A.V., Goryachkin S.V. *Izmenenie pochvennogo dykhaniya v khode postagrogennoi suksessii na peschanykh pochvakh v yuzhnoi taiga.* *Pochvovedenie.* 2013. N 9. S. 1060-1060. DOI: 10.7868/S0032180X13070058.
12. Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Shcherba T.E., Shnyrev N.A. *Abioticheskie faktory dykhaniya pochv.* *Ekologicheskii vestnik Severnogo Kavkaza.* 2010. N 6 (1). S. 5-14.
13. *Pochvennaya karta Orenburgskoi oblasti: 1986. M 1 : 600 000.* Volzhskii gos. proekt. in- t po zemleustroistvu; Orenburg. filial; Razrabotano O.A. Dranitsei, G.P. Kovtun, pod ruk. A.D. Baskakova, V.P. Men'shikova, pri uchastii E.V. Blokhina, A.I. Kliment'eva; otv. red. M.G. Kholina. M.: GUGK, 1990. 3 l.
14. *Karta pochvenno-ekologicheskogo raionirovaniya Rossiiskoi Federatsii. M 1 : 8 000 000.* I.S. Urusevskaya, I.O. Alyabina, S.A. Shoba; pod red. I.S. Urusevskoi. *Tsifrovaya versiya,* 2019. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23173334> (data obrashcheniya: 24.03.2025).
15. Dmitriev A.V., Lednev A.V. *Balans ugleroda na postagrogennykh dervno-podzolistykh pochvakh.* *Vestnik Rossiiskoi akademii nauk.* 2023. T. 93. N 5. S. 445-455. DOI: 10.31857/S0869587323050031.

Сведения об авторах:

Мячина Ксения Викторовна

Д.г.н., зав. отделом, ведущий научный сотрудник отдела природно-техногенных геосистем, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук

ORCID 0000-0001-5190-1421

Myachina Ksenia

Doctor of Geographical Sciences, Leading researcher, Head of Natural-Technogenic Geosystems Department, Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Дубровская Светлана Александровна

К.г.н., старший научный сотрудник отдела природно-техногенных геосистем, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук

ORCID 0000-0002-1361-6942

Dubrovskaya Svetlana

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Department of Natural-Technogenic Geosystems Department, Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Ряхов Роман Васильевич

Научный сотрудник отдела природно-техногенных геосистем, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук

ORCID 0000-0002-4762-3286

Ryakhov Roman

Researcher of Natural-Technogenic Geosystems Department, Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Щавелев Антон Николаевич

Младший научный сотрудник отдела природно-техногенных геосистем, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук

ORCID 0000-0002-7249-2193

Shchavelev Anton

Junior Researcher of Natural -Technogenic Geosystems Department, Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Ларёв Павел Николаевич

Главный инженер – первый заместитель генерального директора, ООО «Газпром добыча Оренбург»

Laryov Pavel

Chief Engineer – First Deputy General Director, "Gazprom Dobycha Orenburg" LLC

Лебеяднцева Татьяна Васильевна

Начальник отдела охраны окружающей среды, ООО «Газпром добыча Оренбург»

Lebedyanceva Tatiana

Head of Environmental Protection Department, "Gazprom Dobycha Orenburg" LLC

Бахтин Андрей Владимирович

Ведущий инженер отдела охраны окружающей среды, ООО «Газпром добыча Оренбург»

Bakhtin Andrey

Leading Engineer of the Environmental Protection Department, "Gazprom Dobycha Orenburg" LLC

Для цитирования: Мячина К.В., Дубровская С.А., Ряхов Р.В., Щавелев А.Н., Ларёв П.Н., Лебеяднцева Т.В., Бахтин А.В. Исследование потенциала ландшафтов к депонированию углерода в районе объектов ООО «Газпром добыча Оренбург» // Вопросы степеведения. 2025. № 3. С. 16-27. DOI: 10.24412/2712-8628-2025-3-16-27