



Особенности регионального распределения парниковых газов в зависимости от ландшафтно-географических факторов по материалам космической съемки (на примере Чеченской Республики)

К.В. Мячина^{1,2}✉, И.А. Керимов¹, Р.В. Ряхов², А.Н. Щавелев²

¹ Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

² Институт степи Уральского отделения Российской академии наук Оренбургского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, Россия

✉ mavicsen@gmail.com

ЦИТИРОВАНИЕ Мячина К.В., Керимов И.А., Ряхов Р.В., Щавелев А.Н. Особенности регионального распределения парниковых газов в зависимости от ландшафтно-географических факторов по материалам космической съемки (на примере Чеченской Республики) // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 4. С. 45–58. DOI:10.30533/GiA-2025-046.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА диоксид углерода, метан, спутниковые данные, поглотительный потенциал ландшафтов, Чеченская Республика

АННОТАЦИЯ Локальные и региональные особенности эмиссии и поглощения парниковых газов, способствующие формированию концентраций последних в атмосфере, являются в настоящее время основными вопросами научной климатической повестки. Регионом исследования стала Чеченская Республика, включающая 12 ландшафтно-географических районов и характеризующаяся территориальной диверсификацией землепользования: на севере, в полупустынной зоне, преобладают пастбища; в северно-центральных и центральных степных районах — распахиваемые земли и урбанизированные территории; южные районы предгорья, низкогорья, среднегорья и высокогорья в основном заняты лесными массивами и луговыми горными пастбищами. Выполнен анализ динамики содержания парниковых газов (диоксида углерода и метана) в атмосфере региона, а также разработана классификация ландшафтов Чеченской Республики по уровню поглотительного потенциала в отношении атмосферного углерода на основе спутниковых снимков Sentinel-2, Sentinel-5P, OCO-2. Выявлено, что содержание диоксида углерода в атмосфере региона неравномерно: максимальные значения прослеживаются в северной части, в равнинных степных и полупустынных районах с преобладанием пастбищ; минимальные — на юге, в низкогорных, среднегорных и высокогорных районах горных лесов и луговых

пастбищ. Максимальные концентрации метана отмечаются в предгорных районах. Наблюдается устойчивый тренд ежегодного роста содержания рассматриваемых парниковых газов в атмосфере. Выделено пять классов ландшафтов, характеризующихся различными уровнями поглотительного потенциала. В северном равнинном полупустынном пастбищном районе процессы эмиссии преобладают над депонированием. В северно-центральных и центральных степных районах, где большую площадь занимают пашни и урбанизированные территории, отмечается незначительный перевес эмиссии над поглощением. Баланс системы «эмиссия — поглощение» в регионе начинается с предгорно-равнинных лесостепных территорий и охватывает южные лесные и луговые горные районы, где депонирование начинает постепенно превалировать над эмиссией.

1 Введение

Интенсивное антропогенное воздействие на глобальную экосистему привело к повышению температуры атмосферы за последние несколько десятилетий¹. Немаловажную роль в этом сыграли и продолжают играть парниковые газы, среди которых одним из основных считается диоксид углерода. Количество диоксида углерода в атмосфере с начала XX века возросло с ~280 до ~416 ppm объемных [1–3]. Основные причины поступления парниковых газов в атмосферу принято связывать со сжиганием ископаемого топлива и сельскохозяйственным землепользованием [4–8]. Глобальная почвенная эмиссия диоксида углерода, происходящая при землепользовании, по некоторым данным, оценивается в 80–100 Гт С · год⁻¹ [9–11] и составляет 73–91 % валовой первичной продукции всех наземных экосистем (110 Гт С · год⁻¹) [12]. Концентрация CO₂ в атмосфере напрямую связана с климатическими особенностями территории, типом ландшафта, биологическими особенностями экосистемы, видом и интенсивностью природопользования [13]². Локальные и региональные особенности эмиссии и поглощения диоксида углерода, способствующие формированию его фоновых концентраций, являются в последние годы основными вопросами научной климатической повестки [14].

Задачи данного исследования:

- выявить специфику пространственно-временной динамики ландшафтного покрова (классов землепользования) Чеченской Республики в связке с содержанием парниковых газов (диоксида углерода и метана) в атмосфере;
- выполнить классификацию ландшафтов Чеченской Республики по уровню поглотительного потенциала в отношении атмосферного углерода.

2 Материалы и методы

Объектом исследования являются ландшафты Чеченской Республики. В ее границах выделяются ландшафтно-географические районы, показанные на рис. 1³. Данные районы авторы использовали при расчетах изменения площадей классов землепользования, соотносящихся с содержанием парниковых газов в атмосфере.

1 Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / R.K. Pachauri, L.A. Meyer (eds.). Geneva: IPCC, 2014. 151 p.

2 Lloyd J., Taylor J. A. On the temperature dependence of soil respiration // Functional Ecology. 1994. Vol. 8. P. 315–323.

3 Районирование выполнено на кафедре экологии и природопользования Научно-исследовательского института геоэкологии и природопользования Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова.

Рис. 1 ➤

Ландшафтно-географическое районирование территории Чеченской Республики

Fig. 1

Landscape and geographical zoning of the territory of the Chechen Republic

Условные обозначения

■ участки детальных исследований

□ общая граница полигона

Ландшафтно-экологические зоны

//// I

\\\\ II

|||| III

Экологические районы

- 1 — высокогорный нивально-гляциальный
- 2 — высокогорный горно-луговой
- 3 — высокогорный горно-лесной
- 4 — среднегорно-низкогорный широколиственных лесов
- 5 — низкогорный лесолуговой
- 6 — предгорно-равнинный лесостепной и степной
- 7 — восточный равнинно-холмистый степной и лесостепной
- 8 — центральный равнинно-холмистый степной
- 9 — терско-сунженский холмисто-равнинный степной
- 10 — притеречно-равнинный степной
- 11 — затеречный равнинный степной
- 12 — затеречный равнинный полупустынный

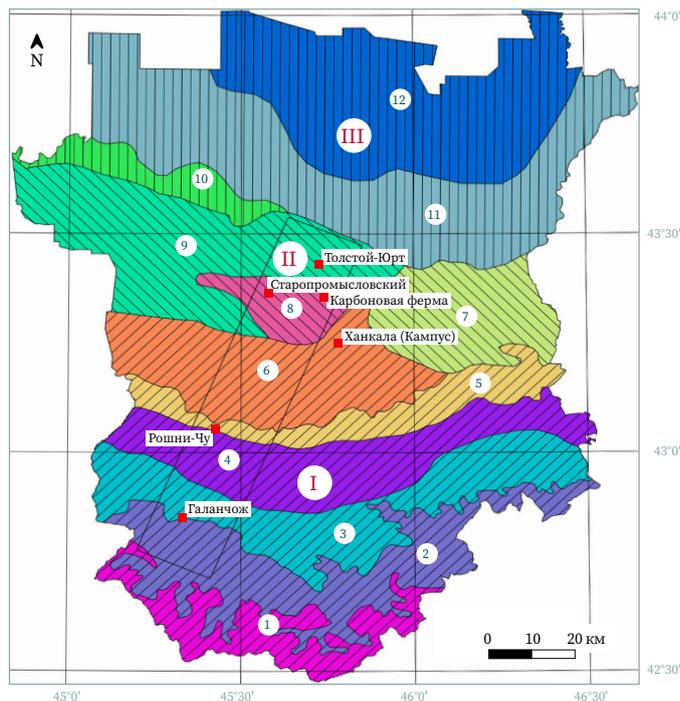


Рис. 2 ➤

Технологическая схема обработки космических снимков для решения задачи классификации ландшафтов Чеченской Республики по уровню поглотительного потенциала в отношении атмосферного углерода

Fig. 2

Technological scheme for processing satellite images to solve the problem of classifying landscapes of the Chechen Republic according to the level of absorption potential in relation to atmospheric carbon

Анализ ландшафтного покрова выполнялся с помощью свободно распространяемого продукта Esri, основанного на данных Sentinel-2 [15]. Динамический ряд снимков составил 7 лет: с 2017 по 2024 год.

Анализ динамики содержания диоксида углерода в атмосфере исследуемой территории выполнен на основе данных спутника OCO-2 за 2015–2021 годы [16–18]. Для метана аналогичные подсчеты выполнены с помощью снимков спутника Sentinel-5P [18].

Классификация ландшафтов Чеченской Республики по уровню поглотительного потенциала в отношении атмосферного углерода основана на интегральной оценке показателя депонирования углерода, полученной авторами ранее [19], и его концентрации в атмосфере. Результатом математических операций со слоями спутниковых продуктов стало классифицированное по уровню поглотительного потенциала в отношении атмосферного углерода изображение территории Чеченской Республики.

Технологическая схема обработки космических снимков с указанием полученных результатов представлена на рис. 2.

Используемая спутниковая система (спутник, семейство спутников)	Временной период, за который обработаны данные	Используемый продукт	Подходы к анализу продукта	Результат обработки данных
Sentinel-2	2017–2024 гг.	LULC (Land Use / Land Cover)	Выделение классов землепользования и расчет соотношения их площадей	<ul style="list-style-type: none"> Картограмма Ландшафтный покров в динамике (классы землепользования) Диаграмма Процентное соотношение площадей классов землепользования / ландшафтного покрова
Sentinel-5P	2018–2023 гг.	CH ₄ Total Column (значения ppbv)	<ul style="list-style-type: none"> Интерполяция данных по сетке в пределах территории региона Расчет многолетних трендов 	<ul style="list-style-type: none"> Картограмма Распределение метана над территорией за исследуемые временные срезы Картограмма Временной тренд метана в атмосфере региона
OCO-2	2015–2021 гг.	CO ₂ Total Column (значения ppm)	<ul style="list-style-type: none"> Интерполяция данных на территорию региона методом изолиний Математические операции с растровыми слоями 	<ul style="list-style-type: none"> Картограмма Распределение диоксида углерода над территорией (среднее за период) Картограмма Временной тренд диоксида углерода в атмосфере региона Картографическое отображение Классификация ландшафтов по уровню поглотительного потенциала в отношении атмосферного углерода

3 Результаты и обсуждение

Ландшафтный покров Чеченской Республики с акцентом на произошедшие за семилетний период изменения показан на рис. 3.

На рис. 4 и в табл. 1 представлены результаты подсчетов площади каждого класса землепользования в ландшафтно-географических районах региона исследования.

Рис. 3

Ландшафтный покров (классы землепользования) Чеченской Республики с изменениями за 2017–2024 годы

Fig. 3

Landscape cover (land use classes) of the Chechen Republic with changes for the period from 2017 to 2024

Условные обозначения

Классы ландшафтного покрова

- облесенные зоны
- утраченные леса
- распахиваемые сельхозугодья
- залежные земли
- пастбища
- подтопленные территории
- открытая почва
- снег / лед
- застроенные (урбанизированные) зоны
- водные объекты

Ландшафтно-географические районы

- I высокогорный нивально-гляциальный
- II высокогорный горно-луговой
- III высокогорный горно-лесной
- IV среднегорно-низкогорный широколиственных лесов
- V низкогорный лесолуговой
- VI предгорно-равнинный лесостепной и степной
- VII восточный равнинно-холмистый степной и лесостепной
- VIII центральный равнинно-холмистый степной
- IX терско-сунженский холмисто-равнинный степной
- X притеречно-равнинный степной
- XI затеречный равнинный степной
- XII затеречный равнинный полупустынный

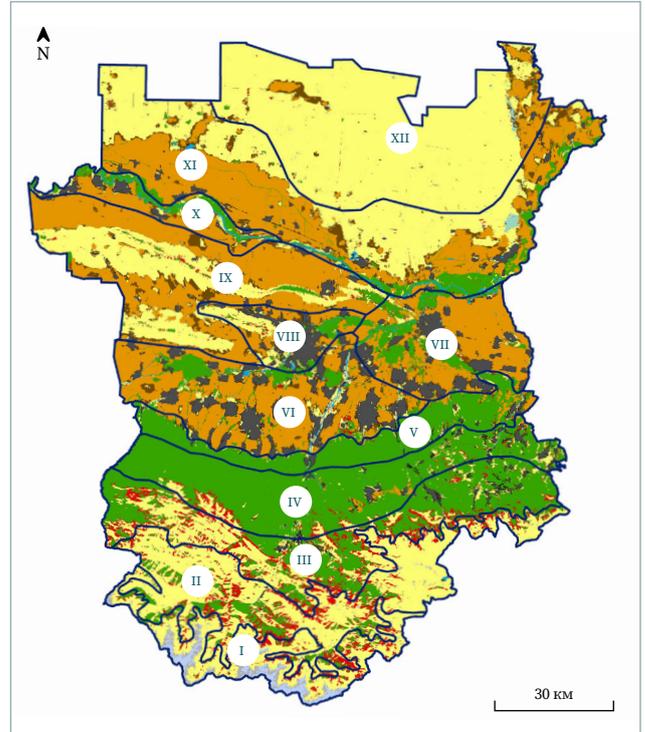
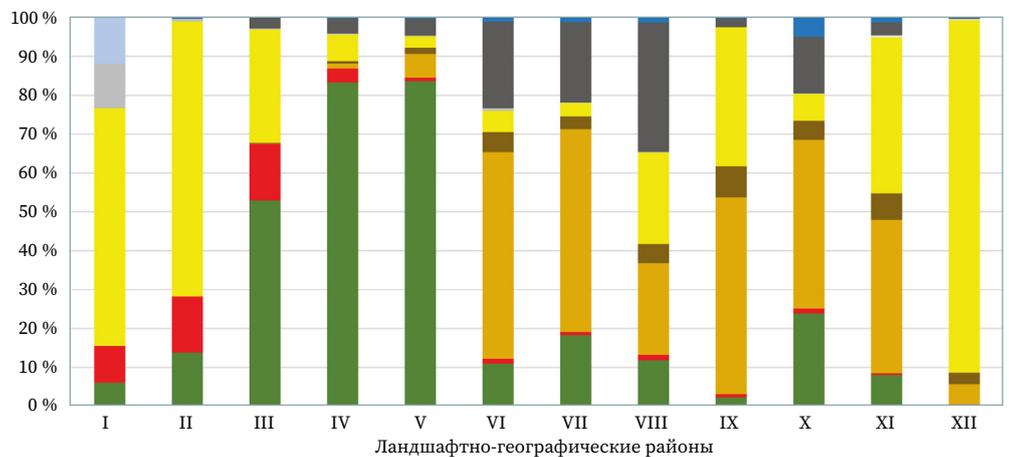


Рис. 4

График процентного соотношения площадей классов землепользования / ландшафтного покрова в пределах экологических районов Чеченской Республики

Fig. 4

Graph of percentage ratio of areas of land use/landscape cover classes within ecological regions of the Chechen Republic



Условные обозначения

Классы ландшафтного покрова

- облесенные зоны
- утраченные леса
- распахиваемые сельхозугодья
- залежные земли
- пастбища
- подтопленные территории
- открытая почва
- снег / лед
- застроенные (урбанизированные) зоны
- водные объекты

Ландшафтно-географические районы

- I высокогорный нивально-гляциальный
- II высокогорный горно-луговой
- III высокогорный горно-лесной
- IV среднегорно-низкогорный широколиственных лесов
- V низкогорный лесолуговой
- VI предгорно-равнинный лесостепной и степной
- VII восточный равнинно-холмистый степной и лесостепной
- VIII центральный равнинно-холмистый степной
- IX терско-сунженский холмисто-равнинный степной
- X притеречно-равнинный степной
- XI затеречный равнинный степной
- XII затеречный равнинный полупустынный

Таблица 1

Процентное соотношение площадей классов землепользования / ландшафтного покрова в пределах ландшафтно-географических районов Чеченской Республики

Table 1

Percentage ratio of areas of land use / landscape cover classes within the landscape-geographical regions of the Chechen Republic

Ландшафтно-географический район		Класс ландшафтного покрова									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	высокогорный нивально-гляциальный	6,08	9,39	0	0	61,18	0	11,45	11,87	0	0,02
II	высокогорный горно-луговой	13,78	14,43	0	0,03	70,83	0	0,45	0,15	0,16	0,17
III	высокогорный горно-лесной	52,91	14,54	0,09	0,19	29,20	0	0,22	0	2,81	0,03
IV	среднегорно-низкогорный широколиственных лесов	83,24	3,67	1,25	0,59	6,86	0	0,28	0	3,94	0,18
V	низкогорный лесолуговой	83,61	0,95	6,04	1,62	2,88	0	0,25	0	4,33	0,31
VI	предгорно-равнинный лесостепной и степной	10,99	1,21	53,18	5,16	5,48	0	0,64	0	22,28	1,05
VII	восточный равнинно-холмистый степной и лесостепной	18,33	0,82	52,12	3,30	3,49	0	0,10	0	20,68	1,16
VIII	центральный равнинно-холмистый степной	11,81	1,45	23,58	4,87	23,58	0,11	0,02	0	33,31	1,27
IX	терско-сунженский холмисто-равнинный степной	2,27	0,85	50,65	7,95	35,72	0	0	0	2,38	0,18
X	притеречно-равнинный степной	23,94	1,25	43,30	4,95	6,88	0,14	0,02	0	14,56	4,97
XI	затеречный равнинный степной	8,04	0,44	39,46	6,82	40,15	0,44	0,04	0	3,39	1,22
XII	затеречный равнинный полупустынный	0,25	0,21	5,20	2,98	90,64	0,27	0,09	0	0,26	0,10
% от общей площади		22,11	3,96	23,17	3,55	39,01	0,12	0,72	0,57	6,18	0,61

Примечание. Классы ландшафтного покрова обозначены арабскими цифрами: **1** — облесенные зоны, **2** — утраченные леса, **3** — распахиваемые сельхозугодья, **4** — залежные земли, **5** — пастбища, **6** — подтопленные территории, **7** — открытая почва, **8** — снег / лед, **9** — застроенные (урбанизированные) зоны, **10** — водные объекты.

Рис. 3, 4 и табл. 1 позволяют выявить особенности распределения классов землепользования в пределах исследуемого региона. Самая большая площадь облесенных территорий наблюдается в V, IV и III ландшафтно-географических районах, т. е. в низкогорном лесолуговом, высокогорном горно-лесном, среднегорно-низкогорном широколиственных лесов. При этом для I–III ландшафтно-географических районов (все высокогорные) характерны самые быстрые темпы и большие площади исчезновения лесов за семь лет. В ландшафтно-географических равнинных луговых и степных районах (с VI по XI) преобладают распахиваемые сельхозугодья и пастбища в почти равных долях (кроме X района). Наконец, XII район (затеречный равнинный полупустынный) почти полностью состоит из эксплуатируемых пастбищ. Наибольшие площади застроенных (урбанизированных) территорий выделяются в четырех ландшафтно-географических районах: предгорно-равнинном лесостепном и степном (VI), восточном равнинно-холмистом степном и лесостепном (VII), центральном равнинно-холмистом степном (VIII) и притеречно-равнинном степном (X).

Текущее содержание диоксида углерода в атмосфере исследуемой территории, а также его временной тренд за 2015–2021 годы представлены на рис. 5.

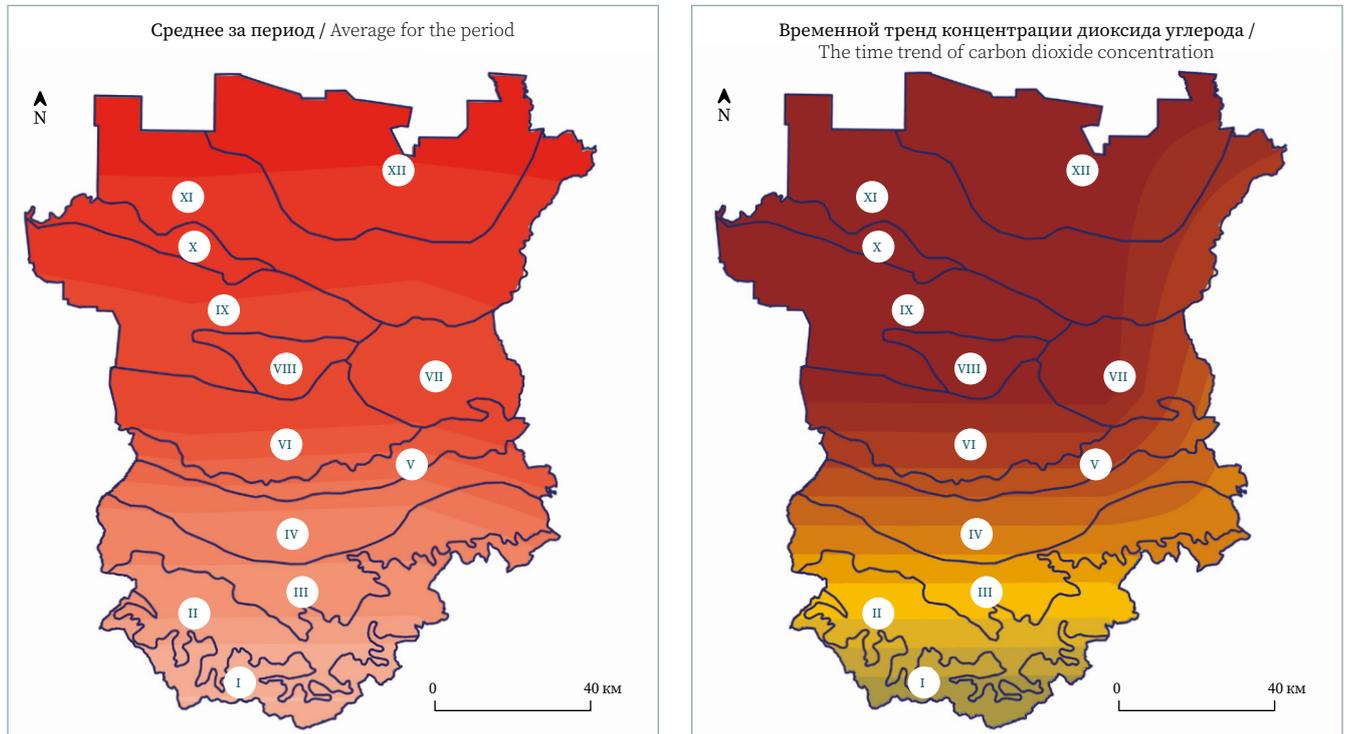
Содержание диоксида углерода в атмосфере региона неравномерно (рис. 5): максимальные значения прослеживаются в северной части, в равнинных полупустынном и степных районах XII, XI, X. Здесь преобладают пастбища и (ближе к центру) пашни. В центральных районах республики концентрации диоксида углерода планомерно снижаются. Здесь преобладают пашни

Рис. 5

Распределение диоксида углерода над территорией Чеченской Республики в 2015–2021 годах

Fig. 5

Distribution of carbon dioxide concentration over the territory of the Chechen Republic for the period from 2015 to 2021



Условные обозначения

CO₂, %	Ландшафтно-географические районы
0,040 776 – 0,040 781 3	I высокогорный нивально-гляциальный
0,040 77 – 0,040 775 3	II высокогорный горно-луговой
0,040 765 – 0,040 769 4	III высокогорный горно-лесной
0,040 759 – 0,040 763 5	IV среднегорно-низкогорный широколиственных лесов
0,040 756 – 0,040 757 6	V низкогорный лесолуговой
0,040 753 – 0,040 754 6	VI предгорно-равнинный лесостепной и степной
0,040 75 – 0,040 751 6	VII восточный равнинно-холмистый степной и лесостепной
0,040 747 – 0,040 748 7	VIII центральный равнинно-холмистый степной
0,040 741 – 0,040 745 7	IX терско-сунженский холмисто-равнинный степной
0,040 735 – 0,040 739 8	X притеречно-равнинный степной
0,040 732 – 0,040 733 9	XI затеречный равнинный степной
0,040 726 – 0,040 730 9	XII затеречный равнинный полупустынный
0,040 72 – 0,040 725	

Условные обозначения

Тренды CO₂, %	Ландшафтно-географические районы
0,000 022 – 0,000 022 1	I высокогорный нивально-гляциальный
0,000 021 9 – 0,000 022	II высокогорный горно-луговой
0,000 021 8 – 0,000 021 9	III высокогорный горно-лесной
0,000 021 7 – 0,000 021 8	IV среднегорно-низкогорный широколиственных лесов
0,000 021 6 – 0,000 021 7	V низкогорный лесолуговой
0,000 021 5 – 0,000 021 6	VI предгорно-равнинный лесостепной и степной
0,000 021 4 – 0,000 021 5	VII восточный равнинно-холмистый степной и лесостепной
0,000 021 3 – 0,000 021 4	VIII центральный равнинно-холмистый степной
0,000 021 2 – 0,000 021 3	IX терско-сунженский холмисто-равнинный степной
0,000 021 1 – 0,000 021 2	X притеречно-равнинный степной
0,000 021 – 0,000 021 1	XI затеречный равнинный степной
	XII затеречный равнинный полупустынный

и урбанизированные территории, но также начинается внедрение густых лесных массивов. И, наконец, на юге, в низкогорных, среднегорных и высокогорных районах IV, III, II, I содержание диоксида углерода в атмосфере минимально. Здесь наряду с преобладанием смешанных лесов и горных пастбищ выявлены наибольшие площади потерянных лесов на фоне минимальных изменений содержания диоксида углерода за исследуемые 7 лет. При этом в степных и полупустынных районах отмечается существенное увеличение этого показателя (см. карту трендов на рис. 5).

Содержание метана в атмосфере региона по состоянию на 2018 и 2023 годы представлено на рис. 6.

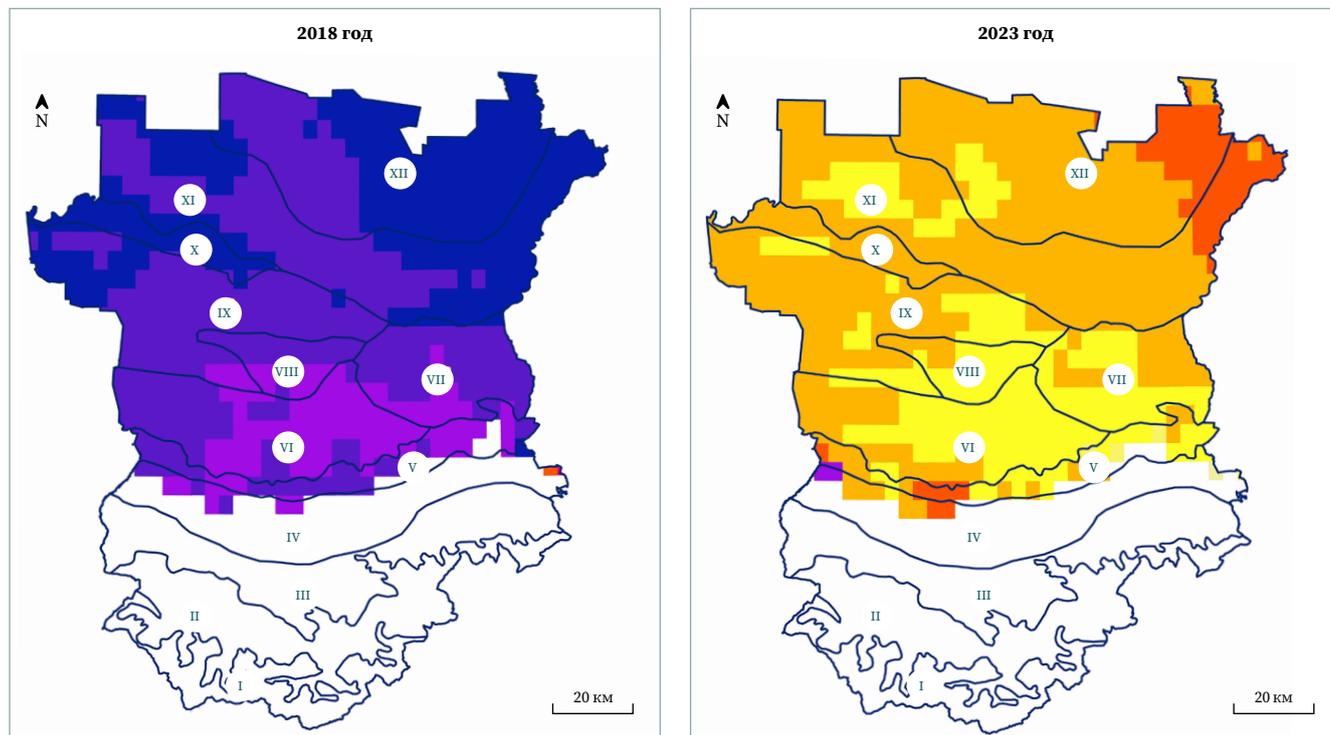
Используемые спутниковые снимки не позволяют получить достоверную информацию о содержании метана в атмосфере горных ландшафтно-географических

Рис. 6 

Распределение метана над территорией Чеченской Республики (среднее за 2018 и 2023 годы)

Fig. 6

Distribution of methane concentration over the territory of the Chechen Republic (average for 2018 and 2023)



Условные обозначения

CH₄, ppb

- 1941–1950
- 1931–1940
- 1921–1930
- 1911–1920
- 1901–1910
- 1891–1900
- 1881–1890
- 1871–1880
- 1861–1870
- 1850–1860

Ландшафтно-географические районы

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> I высокогорный нивально-гляциальный II высокогорный горно-луговой III высокогорный горно-лесной IV среднегорно-низкогорный широколиственных лесов V низкогорный лесолуговой VI предгорно-равнинный лесостепной и степной VII восточный равнинно-холмистый степной и лесостепной | <ul style="list-style-type: none"> VIII центральный равнинно-холмистый степной IX терско-сунженский холмисто-равнинный степной X притеречно-равнинный степной XI затеречный равнинный степной XII затеречный равнинный полупустынный |
|---|---|

районов (в рамках данного исследования это районы IV–I). В доступных для анализа районах выявлен стабильный рост содержания метана в атмосфере за исследуемые 5 лет, а его максимальные значения тяготеют к предгорным зонам и по большей части сосредоточены в предгорно-равнинном лесостепном и степном (VI), восточном равнинно-холмистом степном и лесостепном (VII) ландшафтно-географических районах. Можно предположить, что такое распределение связано либо с концентрацией выпасаемого крупного и мелкого рогатого скота (данное предположение требует подтверждения), либо с особенностями воздушного массопереноса (горы выступают в роли преграды для переноса воздушных масс, что приводит к концентрации примесей [метана] в предгорных районах).

Временной тренд концентрации метана над территорией исследования за 2018–2023 годы представлен на рис. 7.

В доступных для анализа районах V–XII прирост метана за исследуемый шестилетний период относительно равномерен и составляет 51–65 ppb с небольшим превалированием в притеречно-равнинном степном (X) и затеречно-равнинном полупустынном (XII) районах. В то же время анализ ежегодного прироста, отраженного в виде столбчатых диаграмм в точках произвольно заложенной сети, показал, что в 2018–2019 годах наиболее ощутимый прирост объема метана в атмосфере наблюдался на востоке низкогорного лесолугового

Рис. 7 ↗

Временной тренд концентрации метана в атмосфере Чеченской Республики за 2018–2023 годы

Fig. 7

Time trend of methane concentration in the atmosphere of the Chechen Republic for the period from 2018 to 2023

Условные обозначения

Диаграмма абсолютного ежегодного прироста объема метана в конкретной точке (CH₄, ppb)

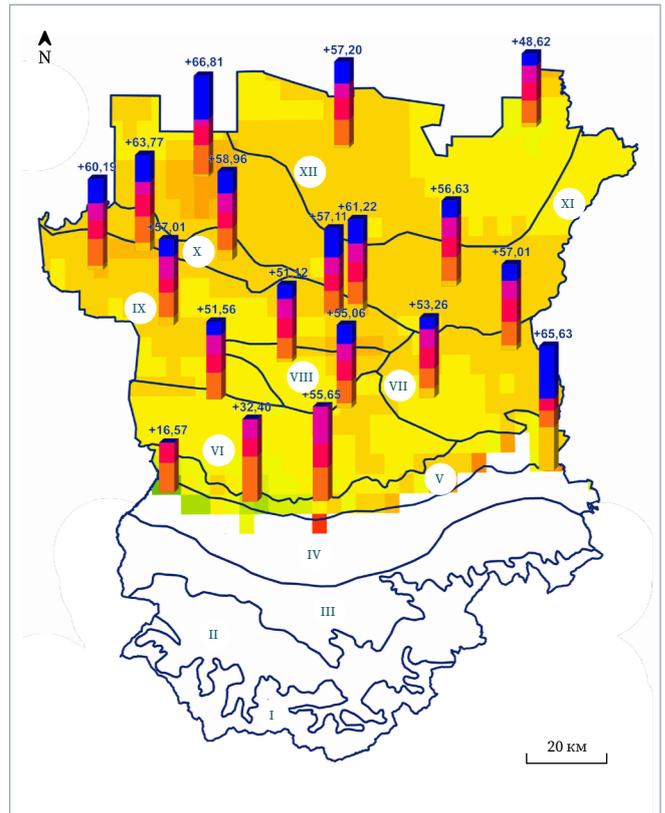


Общий прирост объема метана (CH₄, ppb) на территории региона, 2018–2023 гг.



Ландшафтно-географические районы

- I высокогорный нивально-гляциальный
- II высокогорный горно-луговой
- III высокогорный горно-лесной
- IV среднегорно-низкогорный широколиственных лесов
- V низкогорный лесолуговой
- VI предгорно-равнинный лесостепной и степной
- VII восточный равнинно-холмистый степной и лесостепной
- VIII центральный равнинно-холмистый степной
- IX терско-сунженский холмисто-равнинный степной
- X притеречно-равнинный степной
- XI затеречный равнинный степной
- XII затеречный равнинный полупустынный



района (V). Как было сказано выше, это связано либо с особенностями массопереноса, либо с наличием и активным выпасом большого поголовья крупного и (или) мелкого рогатого скота в тот период. С 2019 по 2020 год максимальный прирост объема метана наблюдается в этом же районе, но в его западной части. С 2020 по 2021 год прирост объема метана в атмосфере республики относительно равномерен, однако с 2021 по 2022 год наблюдается его всплеск снова в том же низкогорном лесолуговом районе (V), но уже в его центральной части при отсутствии какого-либо прироста в западной и восточной частях. И, наконец, с 2022 по 2023 год максимальный прирост содержания метана отмечается снова в этом же ландшафтно-географическом районе (V) — в его восточной части при почти полном отсутствии роста концентрации анализируемого газа в западной и центральной частях. Достаточно высокий рост наблюдается также в указанный период на западе затеречного равнинного степного ландшафтно-географического района (XI), что также может говорить о росте поголовья скота.

Классификация ландшафтов Чеченской Республики по уровню поглотительного потенциала в отношении атмосферного углерода представлена на рис. 8.

Как видно на рис. 8, в северном равнинном полупустынном районе, где большую площадь занимают пастбища, процессы эмиссии значительно преобладают над улавливанием и депонированием углерода. В северно-центральных и центральных степных районах региона, где доминируют распахиваемые сельскохозяйугодья и урбанизированные территории, отмечается незначительное преобладание эмиссии над поглощением. Баланс системы «эмиссия — поглощение» в регионе устанавливается с предгорно-равнинного лесостепного и степного ландшафтно-географического района VI и распространяется на южные районы, где депонирование постепенно начинает превалировать над эмиссией. Районы низкогорья, среднегорья и высокогорья с преимущественно лесными и горными пастбищными ландшафтами являются наиболее благополучными в отношении улавливания углерода из атмосферы и его долговременного удержания.

Рис. 8 ➔

Классификация ландшафтов Чеченской Республики по уровню поглотительного потенциала в отношении атмосферного углерода

Fig. 8

Classification of landscapes of the Chechen Republic by the level of absorption potential in relation to atmospheric carbon

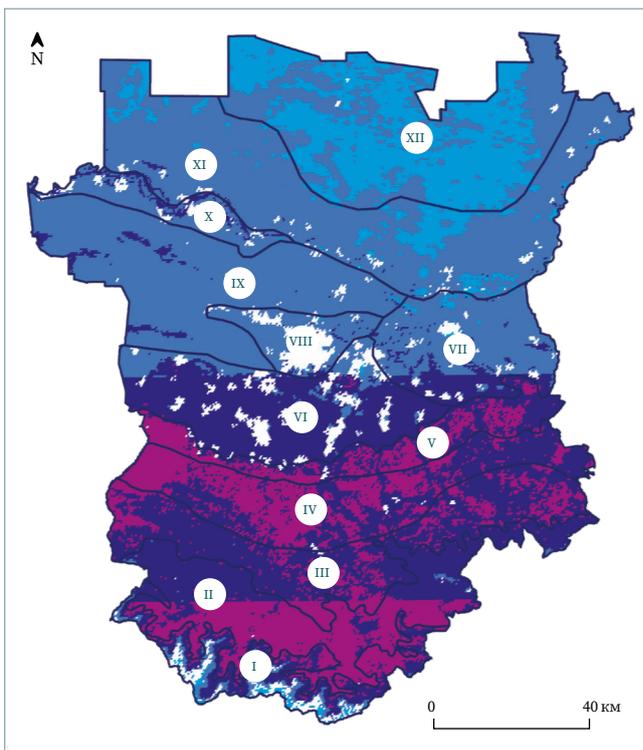
Условные обозначения

Классы ландшафтов по уровню поглотительного потенциала

- 1-й класс — максимальное преобладание эмиссии над депонированием (наименее значимые с точки зрения депонирования ландшафты)
- 2-й класс — ландшафты с незначительным преобладанием эмиссии над поглощением
- 3-й класс — срединные значения без явного доминирования одного из показателей
- 4-й класс — преобладание депонирования над эмиссией
- 5-й класс — безразмерные значения, присущие объектам городской инфраструктуры и крупным водным объектам

Ландшафтно-географические районы

- I высокогорный нивально-гляциальный
- II высокогорный горно-луговой
- III высокогорный горно-лесной
- IV среднегорно-низкогорный широколиственных лесов
- V низкогорный лесолуговой
- VI предгорно-равнинный лесостепной и степной
- VII восточный равнинно-холмистый степной и лесостепной
- VIII центральный равнинно-холмистый степной
- IX терско-сунженский холмисто-равнинный степной
- X притеречно-равнинный степной
- XI затеречный равнинный степной
- XII затеречный равнинный полупустынный



4 Выводы

Максимальные площади облесенных территорий наблюдаются в горных ландшафтно-географических районах Чеченской Республики. При этом в высокогорных районах отмечаются самые быстрые темпы и большие площади исчезновения лесов за 2017–2024 годы. В равнинных луговых и степных районах преобладают в почти равных долях распахиваемые сельхозугодья и пастбища, кроме крайней северной части региона: она почти полностью состоит из пастбищ.

Максимальные концентрации диоксида углерода отмечаются в северной части республики, в равнинных степных и полупустынном районах, где преобладают пастбища и (ближе к центру) пашни. На юге, в низкогорных, среднегорных и высокогорных районах, концентрации диоксида углерода принимают минимальные значения. В этих же горных районах наблюдаются минимальные изменения содержания диоксида углерода за исследуемые 7 лет. На всей территории республики прослеживается общий тренд постепенного роста содержания диоксида углерода в атмосфере.

Максимальные концентрации метана тяготеют к предгорным ландшафтно-географическим районам. На территории республики наблюдается стабильный рост содержания метана в атмосфере за исследуемый период. Наиболее ощутимый прирост объема метана отмечен в низкогорном лесолуговом районе. Районы низкогорья, среднегорья и высокогорья с преимущественно лесными и горными пастбищными ландшафтами являются наиболее благополучными в отношении улавливания углерода из атмосферы и его долговременного удержания.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания Грозненского государственного нефтяного технического университета имени академика М.Д. Миллионщикова № FZNU-2024-0002.

- БИБЛИОГРАФИЯ**
1. Nayak N., Mehrotra R., Mehrotra S. Carbon biosequestration strategies: a review // Carbon Capture Science & Technology. 2022. Vol. 4. P. 100065. DOI:10.1016/j.ccs.2022.100065.
 2. Zhao Y., Su Q., Li B., et al. Have those countries declaring “zero carbon” or “carbon neutral” climate goals achieved carbon emissions-economic growth decoupling? // Journal of Cleaner Production. 2022. Vol. 363. P. 132450. DOI:10.1016/j.jclepro.2022.132450.
 3. Tang Z., Wang Yu., Fu M., et al. The role of land use landscape patterns in the carbon emission reduction: Empirical evidence from China // Ecological Indicators. 2023. Vol. 156. P. 111176. DOI:10.1016/j.ecolind.2023.111176.
 4. Hong C., Burney J.A., Pongratz J., et al. Global and regional drivers of land-use emissions in 1961–2017 // Nature. 2021. Vol. 589. P. 554–561. DOI:10.1038/s41586-020-03138-y.
 5. Houghton R.A., House J.I., Pongratz J., et al. Carbon emissions from land use and land-cover change // Biogeosciences. 2012. Vol. 9. No. 12. P. 5125–5142. DOI:10.5194/bg-9-5125-2012.
 6. Quere C.L., Raupach M.R., Canadell J.G., et al. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide // Nature Geoscience. 2009. Vol. 2. No. 12. P. 831–836. DOI:10.1038/ngeo689.
 7. Habib S., Tahir F., Hussain F., et al. Current and emerging technologies for carbon accounting in urban landscapes: Advantages and limitations // Ecological Indicators. 2023. Vol. 154. P. 110603. DOI:10.1016/j.ecolind.2023.110603.
 8. Альферов А.М., Блинов В.Г., Гитарский М.Л. и др. Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах / под ред. Д.Г. Замолодчикова, Д.В. Карелина, М.Л. Гитарского и др. Саратов: Амирит, 2017. 279 с.
 9. Borken W., Xu Y.J., Davidson E.A., et al. Site and temporal variation of soil respiration in European beech, Norway spruce, and Scots pine forests // Global Change Biology. 2002. Vol. 8. P. 1205–1216. DOI:10.1046/j.1365-2486.2002.00547.
 10. Raich J.W., Potter C.S., Bhagawati D. Interannual variability in global soil respiration, 1980–94 // Global Change Biology. 2002. Vol. 8. P. 800–812. DOI:10.1046/j.1365-2486.2002.00511.x.
 11. Bond-Lamberty B., Thomson A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record // Nature. 2010. Vol. 464. P. 579–582. DOI:10.1038/nature08930.
 12. Yuan W., Liu S., Yu G., et al. Global estimates of evapotranspiration and gross primary production based on MODIS and global meteorology data // Remote Sensing of Environment. 2010. Vol. 114. P. 1416–1431. DOI:10.1016/j.rse.2010.01.022.
 13. Curiel Yuste J., Janssens I.A., Carrara A., et al. Interactive effects of temperature and precipitation on soil respiration in a temperate maritime pine forest // Tree Physiology. 2003. Vol. 23. No. 18. P. 1263–1270. DOI:10.1093/treephys/23.18.1263.
 14. Chatterjee A., Jenerette G.D. Changes in soil respiration Q₁₀ during drying-rewetting along a semi-arid elevation gradient // Geoderma. 2011. Vol. 163. P. 171–177. DOI:10.1016/j.geoderma.2011.04.003.
 15. Karra K., Kontgis C., Statman-Weil Z., et al. Global land use / land cover with Sentinel-2 and deep learning // Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS (July 11–16, 2021). Brussels, 2021. P. 4704–4707. DOI:10.1109/IGARSS47720.2021.9553499.
 16. Metz E.-M., Vardag S.N., Basu S., et al. Soil respiration-driven CO₂ pulses dominate Australia’s flux variability // Science. 2023. Vol. 379. No. 6639. P. 1332–1335. DOI:10.1126/science.add7833.
 17. Nassar R., Hill T.G., McLinden C.A., et al. Quantifying CO₂ emissions from individual power plants from space // Geophysical Research Letters. 2017. Vol. 44. No. 19. P. 10,045–10,053. DOI:10.1002/2017GL074702.
 18. Chan K.-L., Xu J., Slijkhuis S., et al. TROPOspheric Monitoring Instrument observations of total column water vapour: algorithm and validation // Science of The Total Environment. 2022. Vol. 821. P. 153232. DOI:10.1016/j.scitotenv.2022.153232.
 19. Мячина К.В., Керимов И.А., Ряхов Р.В. и др. Изучение поглотительной способности ландшафтов в отношении диоксида углерода с помощью ДДЗ (на примере степных, лесостепных и горнолесных регионов юга России) // Геология и геофизика Юга России. 2024. № 14(1). С. 141–151. DOI:10.46698/VNC.2024.41.38.010.

АВТОРЫ **Мячина Ксения Викторовна**

ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова», Грозный, Россия;
Институт степи Уральского отделения Российской академии наук (ИС УрО РАН),
Оренбург, Россия
отдел природно-техногенных геосистем
д-р геогр. наук
 0000-0001-5190-1421

Керимов Ибрагим Ахмедович

ФГБОУ ВО «Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова», Грозный, Россия
Научно-исследовательский институт геоэкологии и природопользования
д-р физ.-мат. наук, профессор
 0000-0001-9606-3775

Ряхов Роман Васильевич

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук (ИС УрО РАН),
Оренбург, Россия
отдел природно-техногенных геосистем
 0000-0002-4762-3286

Щавелев Антон Николаевич

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук (ИС УрО РАН),
Оренбург, Россия
отдел природно-техногенных геосистем
 0000-0002-7249-2193

Поступила 17.03.2025. Принята к публикации 22.08.2025. Опубликована 29.08.2025.



Greenhouse gases regional distribution depending on landscape and geographical features based on space survey materials (Chechen Republic as the example)

**Ksenya V. Myachina^{1,2}✉, Ibrahim A. Kerimov¹,
Roman V. Ryakhov², Anton N. Shchavelev²**

¹ Grozny State Oil Technological University named after Academician M.D. Millionshchikov, Grozny, Russia

² Institute of Steppe, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia
✉ mavicsen@gmail.com

CITATION Myachina KV, Kerimov IA, Ryakhov RV, Shchavelev AN. Greenhouse gases regional distribution depending on landscape and geographical features based on space survey materials (Chechen Republic as the example). *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(4): 45–58. DOI:10.30533/GiA-2025-046.

KEYWORDS carbon dioxide, methane, absorption, deposition, satellite data, landscape absorption potential, Chechen Republic

ABSTRACT Local and regional features of greenhouse gas emissions and absorption, contributing to the formation of their concentrations in the atmosphere, have been the main issues of the scientific climate agenda in recent years. The study region is the Chechen Republic, including 12 landscape-geographical regions and characterized by territorial diversification of land use. In the north of the region, in the semi-desert zone, pastures predominate; in the north-central and central steppe regions – arable lands and urbanized territories; the southern areas of the foothills, lowlands, midlands and highlands are mainly occupied by forests and meadow mountain pastures. The objectives of the work are to analyze the dynamics of greenhouse gas (carbon dioxide and methane) content in the atmosphere of the region and to classify the landscapes of the Chechen Republic by the level of absorption potential for atmospheric carbon. Methods: analysis of satellite images Sentinel-2, Sentinel-5P, OCO-2. It was revealed that the content of carbon dioxide in the atmosphere of the region is uneven: the maximum values are traced in the northern part, in the flat steppe and semi-desert areas with a predominance of pastures; the minimum – in the south, in the low-mountain, mid-mountain and high-mountain areas of mountain forests and meadow pastures. The maximum concentrations of methane are noted in the foothills. A stable trend of annual growth of the content of the considered greenhouse gases in the atmosphere

is observed. Five classes of landscapes are distinguished, characterized by different levels of absorption potential. In the northern flat semi-desert pasture region, emission processes prevail over deposition. In the north-central and central steppe regions with a predominance of arable land and urbanized territories, an insignificant predominance of emission over absorption is noted. The balance of the emission-absorption system in the region begins with the foothill-plain forest-steppe territories and covers the southern forest and meadow mountainous regions, where deposition processes gradually begin to prevail over emission.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out within the framework of the state assignment of GGNTU named after academician M.D. Millionshchikov No. FZNU-2024-0002.

REFERENCES

1. Nayak N, Mehrotra R, Mehrotra S. Carbon biosequestration strategies: a review. *Carbon Capture Science & Technology*. 2022;4: 100065. DOI:10.1016/j.ccst.2022.100065.
2. Zhao Y, Su Q, Li B, et al. Have those countries declaring “zero carbon” or “carbon neutral” climate goals achieved carbon emissions-economic growth decoupling? *Journal of Cleaner Production*. 2022;363: 132450. DOI:10.1016/j.jclepro.2022.132450.
3. Tang Z, Wang Yu, Fu M, et al. The role of land use landscape patterns in the carbon emission reduction: Empirical evidence from China. *Ecological Indicators*. 2023;156: 111176. DOI:10.1016/j.ecolind.2023.111176.
4. Hong C, Burney JA, Pongratz J, et al. Global and regional drivers of land-use emissions in 1961–2017. *Nature*. 2021;589: 554–561. DOI:10.1038/s41586-020-03138-y.
5. Houghton RA, House JI, Pongratz J, et al. Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeosciences*. 2012;9(12): 5125–5142. DOI:10.5194/bg-9-5125-2012.
6. Quere CL, Raupach MR, Canadell JG, et al. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature Geoscience*. 2009;2(12): 831–836. DOI:10.1038/ngeo689.
7. Habib S, Tahir F, Hussain F, et al. Al-Ghamdi S.G. Current and emerging technologies for carbon accounting in urban landscapes: Advantages and limitations. *Ecological Indicators*. 2023;154: 110603. DOI:10.1016/j.ecolind.2023.110603.
8. Al'ferov AM, Blinov VG, Gitarskij ML, et al. *Monitoring potokov parnikovyh gazov v prirodnyh jekosistemah* [Monitoring greenhouse gas flows in natural ecosystems]. Zamolodchikova DG, Karelina DV, Gitarskogo ML (eds.). Saratov: Amirit; 2017. 279 p. (In Russian).
9. Borken W, Xu YJ, Davidson EA, et al. Site and temporal variation of soil respiration in European beech, Norway spruce, and Scots pine forests. *Global Change Biology*. 2002;8: 1205–1216. DOI:10.1046/j.1365-2486.2002.00547.
10. Raich JW, Potter CS, Bhagawati D. Interannual variability in global soil respiration, 1980–94. *Global Change Biology*. 2002;8: 800–812. DOI:10.1046/j.1365-2486.2002.00511.x.
11. Bond-Lamberty B, Thomson A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record. *Nature*. 2010;464: 579–582. DOI:10.1038/nature08930.
12. Yuan W, Liu S, Yu G, et al. Global estimates of evapotranspiration and gross primary production based on MODIS and global meteorology data. *Remote Sensing of Environment*. 2010;114: 1416–1431. DOI:10.1016/j.rse.2010.01.022.
13. Curiel Yuste J, Janssens IA, Carrara A, et al. Interactive effects of temperature and precipitation on soil respiration in a temperate maritime pine forest. *Tree Physiology*. 2003;23(18): 1263–1270. DOI:10.1093/treephys/23.18.1263.
14. Chatterjee A, Jenerette GD. Changes in soil respiration Q10 during drying-rewetting along a semi-arid elevation gradient. *Geoderma*. 2011;163: 171–177. DOI:10.1016/j.geoderma.2011.04.003.
15. Karra K, Kontgis C, Statman-Weil Z, et al. Global land use / land cover with Sentinel-2 and deep learning. *Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS (July 11–16, 2021)*. Brussels; 2021: 4704–4707. DOI:10.1109/IGARSS47720.2021.9553499.
16. Metz EM, Vardag SN, Basu S, et al. Soil respiration-driven CO₂ pulses dominate Australia's flux variability. *Science*. 2023;379(6639): 1332–1335. DOI:10.1126/science.add7833.
17. Nassar R, Hill TG, McLinden CA, et al. Quantifying CO₂ emissions from individual power plants from space. *Geophysical Research Letters*. 2017;44(19): 10,045–10,053. DOI:10.1002/2017GL074702.

18. Chan K-L, Xu J, Slijkhuis S, et al. TROPOspheric Monitoring Instrument observations of total column water vapour: algorithm and validation. *Science of The Total Environment*. 2022;821: 153232. DOI:10.1016/j.scitotenv.2022.153232.
19. Mjachina KV, Kerimov IA, Rjahov RV, et al. Izuchenie poglotitel'noj sposobnosti landshaftov v otnoshenii dioksida ugleroda s pomoshh'ju DDZ (na primere stepnyh, lesostepnyh i gornolesnyh regionov juga Rossii) [Study of the absorption capacity of landscapes in relation to carbon dioxide using remote sensing (using the example of steppe, forest-steppe and mountain forest regions of southern Russia)]. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2024;14(1): 141–151. (In Russian). DOI:10.46698/VNC.2024.41.38.010.

AUTHORS **Ksenia V. Myachina**

Grozny State Oil Technological University named after Academician M.D. Millionshchikov, Grozny, Russia;
Institute of Steppe, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia
Natural & Technogenic Geosystems Department
Dr. of Sci. (Geography)
 0000-0001-5190-1421

Ibrahim A. Kerimov

Grozny State Oil Technological University named after Academician M.D. Millionshchikov, Grozny, Russia
Research Institute of Geoecology and Nature Management
Dr. of Sci. (Physics and Mathematics), Professor
 0000-0001-9606-3775

Roman V. Ryakhov

Institute of Steppe, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia
Natural & Technogenic Geosystems Department
 0000-0002-4762-3286

Anton N. Shchavelev

Institute of Steppe, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia
Natural & Technogenic Geosystems Department
 0000-0002-7249-2193

Submitted: March 17, 2025. Accepted: August 22, 2025. Published: August 29, 2025.