

УДК 334.02

КОНЦЕПЦИЯ КАРБОНОВЫХ ПОЛИГОНОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ В АРМЕНИИ

А. В. ОЛЬЧЕВ ^{1*}, В. Г. МАРГАРЯН ^{2**}, А. М. СЕДРАКЯН ^{2***}

¹ *Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия*

² *Кафедра физической географии и гидрометеорологии ЕГУ, Армения*

³ *Национальный Политехнический Университет Армении, Армения*

Для мониторинга эмиссии и поглощения парниковых газов в природных экосистемах, а также для отработки технологических решений контроля потоков парниковых газов природными экосистемами, направленных на уменьшение их эмиссии и увеличения их поглощения из атмосферы, в России создана сеть карбоновых полигонов. Пилотный проект является важной частью стратегии низкоуглеродного развития по декарбонизации российской экономики и адаптации ее к глобальному энергопереходу, сокращению выбросов парниковых газов и достижению углеродной нейтральности России к 2060 году. Для достижения поставленных задач в пилотном проекте используется комплексный подход, включающий наземные измерения углеродного баланса и потоков парниковых газов, данные дистанционного зондирования, и методы математического моделирования. Для проведения мониторинговых наблюдений за потоками парниковых газов привлекается широкий спектр экспериментальных подходов для прямого и косвенного определения потоков парниковых газов. Среди прямых методов измерения потоков в полевых условиях используются методы турбулентных пульсаций (eddy covariance) и экспозиционных камер. Карбоновые полигоны для мониторинга потоков парниковых газов планируется распределить в наиболее репрезентативных природных наземных и водных экосистемах, позволяющих оценить масштабы пространственной и временной изменчивости эмиссии и поглощения парниковых газов. Территория Армении является уникальным регионом с точки зрения разнообразия климатических условий и ландшафтов. Создание системы мониторинга потоков парниковых газов может служить гарантией получения репрезентативных данных об эмиссии и поглощении климатически активных газов природными экосистемами, с перспективой на достижение Арменией углеродной нейтральности в ближайшие десятилетия.

<https://doi.org/10.46991/PYSU:C/2023.57.3.248>

Keywords: fluxes of greenhouse gases, network of carbon polygons, monitoring, emissions and absorption.

* E-mail: aoltche@gmail.com

** E-mail: vmargaryan@ysu.am

*** E-mail: asedrakyan@seua.am

Введение. По данным итогового доклада международной группы экспертов по изменению климата (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2022) [1], антропогенно-обусловленный рост глобальной температуры в настоящее время составил 1,09°C по сравнению с доиндустриальным периодом (1850–1900 гг.). Увеличение средней глобальной температуры в период с 2010 по 2020 гг. достигло 0,25°C, что является абсолютным максимумом за весь период инструментальных метеорологических наблюдений. Наиболее высокие темпы роста температуры отмечаются над поверхностью суши в умеренных и полярных широтах северного полушария. Одновременно с ростом температуры отмечается и изменение режима атмосферных осадков, а также увеличение повторяемости и интенсивности экстремальных погодных явлений, таких как волны жары, почвенные засухи, ураганы, ливневые осадки, нередко приводящие к катастрофическим наводнениям. Очевидно, что все подобные экстремальные явления оказывают крайне неблагоприятное влияние на условия жизни населения, могут повлечь за собой деградацию почв и нарушение структуры и функционирования растительных сообществ, привести к снижению урожайности сельскохозяйственных культур, вплоть до гибели посевов.

Большинство экспертов по изменению климата связывают наблюдаемые в последние десятилетия резкие климатические изменения с увеличением содержания парниковых (климатически активных) газов (диоксида углерода, метана, закиси азота, фреонов и др.) в атмосфере, вызванным стремительным ростом выбросов парниковых газов от антропогенных источников. Согласно данным палеоклиматических исследований, современный уровень содержания диоксида углерода в атмосфере достиг максимальных значений за последние 800 тыс. лет. Прогностические оценки возможных будущих изменений климата показывают, что практически при всех возможных сценариях развития экономики и связанных с ним увеличением выбросов парниковых газов глобальное потепление будет продолжаться на протяжении всего XXI столетия. При этом в умеренных и полярных широтах будут отмечаться наиболее сильные темпы потепления по сравнению с прогнозируемыми средними значениями роста температуры по всему земному шару.

Природно-климатические решения для смягчения последствий изменения климата. С учетом выявленных закономерностей изменения климата очевидно важной современной мировой проблемой является сокращение выбросов парниковых газов и сдерживание темпов их роста в атмосфере. Это возможно осуществить за счет развития низкоуглеродных технологий производства энергии, а также технологий, обеспечивающих частичный или полный отказ в будущем от потребления энергии, вырабатываемой за счет углеводородов, в ключевых областях экономики, таких как энергетика, металлургия, машиностроение, транспорт. Этот путь предполагает огромные финансовые затраты, на которые мировое сообщество, тем не менее, будет вынуждено пойти для достижения углеродной нейтральности к 2050–2060 гг. При этом осуществление амбициозных проектов в области низкоуглеродного развития, их масштабы и скорость, с которой они должны реализовываться, существенно зависят от потенциала естественного поглощения климатически

активных газов природными экосистемами. Например, при наиболее жестком сценарии сокращения выбросов, начиная с 2023 г. доля поглощения диоксида углерода природными экосистемами суши и океана к 2100 г. может составить около 70%. Это предполагает, что на низкоуглеродные технологии будет приходиться около 30% сокращения выбросов. Это достаточно существенно, поскольку потребует существенной перестройки многих отраслей экономики, с учетом уже имеющихся существенных ограничений потенциала многих низкоуглеродных технологий. В этом смысле использование потенциала естественных экосистем для увеличения поглощения климатически активных газов является крайне привлекательным, поскольку является менее затратным по сравнению с другими технологиями низкоуглеродного развития. Другими словами, учет роли естественных экосистем в формировании баланса потоков климатически активных газов в атмосферу является критическим для прогнозирования развития экономики в условиях изменений климата.

Природные экосистемы обладают значительным потенциалом регулирования атмосферного углеродного баланса, прежде всего, за счет способности растительности к поглощению диоксида углерода из атмосферы и его секвестрации и накопления в почвенном покрове. Это предполагает необходимость получения существенно более точных количественных данных о потоках климатически активных газов в природных экосистемах, что позволит не только оценить роль природных экосистем в регулировании баланса парниковых газов в атмосфере, но и предложить новые технологии, позволяющие интенсифицировать поглощение парниковых газов наземными и водными экосистемами. Система наземного мониторинга потоков парниковых газов активно развивается в мире начиная с конца прошлого века. В настоящее время, региональные и глобальные сети станций (например, FLUXNET) насчитывают более 800 постоянно действующих станций мониторинга. Число последних на территории России составляет пока чуть более 15 постоянно действующих станций. В Армении такие станции полностью отсутствуют.

Предложенная правительством Российской Федерации (РФ) система мер в рамках программы декарбонизации рассматривает проведение широкого спектра мероприятий по реализации стратегии низкоуглеродного развития, направленных не только на принятие мер по уменьшению антропогенных выбросов диоксида углерода и других парниковых газов, но также и на проведение мероприятий по сохранению и увеличению поглощающей способности парниковых газов лесами и иными природными экосистемами. В качестве одной из главных задач Федеральной научно-технической программы в области экологического развития РФ и климатических изменений на 2021–2030 гг. планируется создание национальной системы мониторинга потоков парниковых газов, что обеспечит получение на национальном уровне надежной и репрезентативной информации об эмиссии и поглощении парниковых газов наземными и водными экосистемами. Именно это и обозначено в качестве основной цели реализации пилотного проекта по созданию карбоновых полигонов в РФ, развиваемого Министерством науки и высшего образования РФ начиная с 2021 г.

Цели и задачи карбоновых полигонов. Карбоновый полигон – это один или несколько участков земной поверхности с репрезентативными для данной территории рельефом, растительным и почвенным покровом, созданных для реализации мероприятий по определению потоков парниковых газов, а также по развитию технологий их контроля в природных экосистемах.

Основными задачами карбоновых полигонов являются:

1) мониторинговые наблюдения за эмиссией и поглощением парниковых газов в природных экосистемах посредством наземных и дистанционных методов измерений;

2) оценка пространственной и временной изменчивости эмиссии и поглощения парниковых газов в репрезентативных наземных и водных экосистемах, а также определение интегральных величин потоков для различных территорий за определенные интервалы времени (сутки, месяц, год);

3) отработка технологических решений контроля эмиссии и поглощения парниковых газов природными экосистемами, направленных на уменьшение их эмиссии и увеличения их поглощения из атмосферы;

4) разработка и адаптация технологий дистанционного мониторинга структуры и состояния растительного и почвенного покрова, эмиссии и поглощения парниковых газов с использованием данных наземных измерений и методов математического моделирования;

5) подготовка кадров высшей квалификации в области методов экологического контроля и мониторинга потоков парниковых газов, перспективных технологий для низкоуглеродной индустрии, лесного, сельского и муниципального хозяйств.

Методология наблюдений за потоками парниковых газов. Для достижения поставленных задач в пилотном проекте планируется использование комплексного подхода, включающего разветвленную систему станций наземного мониторинга составляющих углеродного баланса и потоков парниковых газов, данные дистанционного зондирования (спутниковое и самолетное зондирование, зондирование с использованием беспилотных летательных аппаратов) и методы математического моделирования процессов переноса парниковых газов между земной (водной) поверхностью и атмосферой в различных пространственных и временных масштабах. Данный подход позволит получить разносторонние оценки составляющих углеродного баланса и потоков парниковых газов в наземных и водных экосистемах в различных пространственных и временных масштабах, а также оценить масштабы пространственно-временной изменчивости эмиссии и поглощения парниковых газов наземными (тундра, леса, лесостепь, степь, луга, сельскохозяйственные посевы, болота) и водными (прибрежные акватории морей и пресноводные внутренние водоемы) экосистемами, включая территории с многолетней мерзлотой. Долговременное проведение наблюдений позволит также количественно оценить неопределенности в интегральных оценках потоков парниковых газов как для отдельных регионов, так и для отдельных типов природных ландшафтов. Для проведения мониторинговых наблюдений за потоками парниковых газов планируется привлечение широкого спектра экспериментальных подходов для прямого и косвенного определения потоков парниковых

газов и составляющих углеродного баланса. Среди прямых методов измерения потоков в полевых условиях будут использованы методы турбулентных пульсаций (eddy covariance) и экспозиционных камер. Для определения составляющих углеродного баланса планируется использование лабораторного оборудования для химического анализа содержания органического и неорганического углерода в образцах растительности, почвы и воды. Для поддержания проводимых наблюдений за потоками парниковых газов и углеродным балансом, а также для адекватной интерпретации получаемых результатов на полигонах будут проводиться комплексные метеорологические, экофизиологические, ландшафтные, геоботанические и почвенные исследования.

Использование спектрозональной измерительной аппаратуры, лидаров и портативных газоанализаторов, установленных на беспилотных летательных аппаратах, а также спектрозональные данные, поступающие с искусственных спутников, позволят оценить как состояние и свойства подстилающей поверхности, так и содержание парниковых газов в нижней атмосфере. В дальнейшем эти данные совместно с результатами наземных измерений потоков позволят выполнить надежные региональные оценки эмиссии и поглощения парниковых газов природными экосистемами. Существенная роль в проведении подобных оценок будет принадлежать математическим моделям земной системы.

Карбоновые полигоны для мониторинга потоков парниковых газов планируется распределить в наиболее репрезентативных природных наземных и водных экосистемах, позволяющих оценить масштабы пространственной и временной изменчивости эмиссии и поглощения парниковых газов с учетом существующего разнообразия и изменчивости климатических условий, структуры землепользования, растительного и почвенного покрова, рельефа местности.

Заключение. Территория Армении является уникальной с точки зрения разнообразия климатических условий и ландшафтов. Создание системы мониторинга потоков климатически активных газов может служить гарантией получения репрезентативных данных об их эмиссии и поглощении природными экосистемами и достижения Арменией углеродной нейтральности в ближайшие десятилетия. В работах [2–6] обсуждены и выяснены настоящее состояние загрязнения и охраны атмосферного воздуха в Республике Армения, динамика изменения атмосферных выбросов и имеющиеся проблемы в этой сфере, а также контроль за загрязнением атмосферного воздуха города Ереван.

Поступила 18.10.2023

Получена с рецензии 11.11.2023

Утверждена 15.12.2023

ЛИТЕРАТУРА

1. Pörtner H.O., Roberts D.C., et al. *IPCC, 2022: Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Sixth*

- Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. US and UK, Cambridge and New York (2022), 3–33.
2. Маргарян В.Г. Статистический анализ выбросов атмосферы и экологическая безопасность (Республика Армения). *Ученые записки ЕГУ. Геолог. и географ. науки* **55** (2020), 6–12.
<https://doi.org/10.46991/PYSU:C/2020.55.1.006>
 3. Маргарян В.Г. *Охрана атмосферного воздуха и проблемы обеспечения экологической безопасности в Республике Армения*. В сб.: “Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии”. Материалы III Международной научно-практ. конф. с научной школой для молодежи. Министерство ОН РФ, ФГБОУ ВО “Тверской государственный технический университет”. Тверь, ТвГТУ (2016), 262–266 .
 4. Маргарян В.Г., Хачатрян Г.А. Современное состояние содержания пыли в атмосферном воздухе Еревана. *Известия Саратовского университета. Новая серия. Науки о Земле* **22** (2022), 21–25.
<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-1-21-25>
 5. Маргарян В.Г., Хачатрян Г.А. Об оценке загрязнение атмосферного воздуха города Ереван. *Региональные геосистемы* **46** (2022), 53–61.
<https://doi.org/10.52575/2712-7443-2022-46-1-53-61>
 6. Margaryan V.G. *Dynamics Change of Greenhouse Gas Emissions on the Territory of Republic of Armenia*. Book of Abstracts ICCARUS (2023), 57.
<https://doi.org/10.5676/DWD pub/nwv/iccarus 2023>

Ա. Վ. ՕԼՁԵՎ, Վ. Գ. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ, Ա. Մ. ՍԵՂՈՎԿՅԱՆ

ԱԾԽԱԾՆԱՅԻՆ ՊՈԼԻԳՈՆՆԵՐԻ ՀԱՅԵՑԱԿԱՐԳՐ ԵՎ ԴՐԱՆՑ
ՉԱՐԳԱՑՄԱՆ ՀԵՌԱՆԿԱՐՆԵՐԸ ՀԱՅԱՍՏԱՆՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

Բնական էկոհամակարգերում ջերմոցային գազերի արտանետման և կլանման մոնիտորինգ, ինչպես նաև բնական էկոհամակարգերում ջերմոցային գազերի հոսքը վերահսկելու տեխնոլոգիական լուծումներ մշակելու համար, որոնք ուղղված են դրանց արտանետումների նվազեցմանը և մթնոլորտից դրանց կլանումը մեծացնելուն, Ռուսաստանում ստեղծվել է ածխածնային պոլիգոնների ցանց: Պիլոտային նախագիծը ցածր ածխածնային զարգացման ռազմավարության կարևոր մասն է՝ Ռուսաստանի տնտեսությունը ածխաթթվացնելու և այն գլոբալ էներգետիկ անցմանը հարմարեցնելու, ջերմոցային գազերի արտանետումների կրճատման և մինչև 2060 թ.-նը Ռուսաստանում ածխածնային չեզոքության հասնելու համար: Սահմանված նպատակներին հասնելու համար փորձնական նախագիծը օգտագործում է ինտեգրված մոտեցում, ներառյալ ածխածնի հաշվեկշռի և և ջերմոցային գազերի հոսքերի երկրային չափումները, հեռահար զոնդավորման տվյալներն ու մաթեմատիկական մոդելավորման մեթոդները:

Ջերմոցային գազերի հոսքերի մոնիտորինգային դիտարկումներ իրականացնելու համար օգտագործվում են ջերմոցային գազերի հոսքերի ուղղակի և անուղղակի որոշման համար փորձարարական մոտեցումների լայն շրջանակ: Դաշտային պայմաններում հոսքերի չափման ուղղակի մեթոդներից օգտագործվում է տուրբուլենտ պոլսացիայի և բացահայտման տեսախցիկների

մերթողները: Ջերմոցային գազերի հոսքերի մոնիտորինգի համար ածխածնային պոլիգոնները նախատեսվում է բաշխել ցամաքային և ջրային բնական էկոհամակարգերում, ինչը թույլ է տալիս գնահատել ջերմոցային գազերի էմիսիայի և կլանման տարածական ու ժամանակային փոփոխականության մասշտաբները: Հայաստանի տարածքը կլիմայական պայմանների և լանդշաֆտների բազմազանությամբ եզակի տարածաշրջան է: Ջերմոցային գազերի հոսքերի մոնիտորինգի համակարգի ստեղծումը կարող է ծառայել որպես բնական էկոհամակարգերի կողմից կլիմայական ակտիվ գազերի արտանետման և կլանման վերաբերյալ ներկայացուցչական տվյալներ ստանալու երաշխիք, առաջիկա տասնամյակներում Հայաստանի ածխածնային չեզոքության հասնելու հեռանկարով:

A. V. OLCHEV, V. G. MARGARYAN, A. M. SEDRAKYAN

THE CONCEPT OF CARBON POLYGONS AND PERSPECTIVES OF THEIR FURTHER DEVELOPMENT IN ARMENIA

Summary

A network of carbon polygons has been established in Russia to study the emission and uptake of greenhouse gases in natural ecosystems and to develop technological solutions to control the fluxes of greenhouse gases in natural ecosystems with the aim of reducing their emission and increasing their uptake from the atmosphere. The pilot project is an important part of the low-carbon development strategy to decarbonize the Russian economy, adapt the economy to the global energy transition, reduce greenhouse gas emissions and achieve carbon neutrality in Russia by 2060. To achieve these goals, the pilot project uses an integrated approach that includes ground-based measurements of carbon balance and greenhouse gas fluxes, remote sensing data, and mathematical modeling methods. To provide observations of greenhouse gas fluxes, a wide range of experimental methods for direct and indirect measurements of greenhouse gas fluxes will be used. Direct field flux measurements include eddy covariance and chamber methods. Carbon polygons for monitoring greenhouse gas fluxes are planned to be distributed in the most representative natural terrestrial and aquatic ecosystems, allowing to assess the spatial and temporal variability of greenhouse gas emission and uptake. The territory of Armenia is a unique region in terms of diversity of climatic conditions and landscapes. The development of a system for monitoring greenhouse gas fluxes can serve as a guarantee of obtaining representative data on the emission and absorption of greenhouse gases by natural ecosystems, with the perspective of Armenia achieving carbon neutrality in the coming decades.