

DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-3-339-348

EDN: SNVVUO

УДК 504.4.062.2


Научная статья / Research article

Оценка экосистемных услуг по регулированию климата водно-болотными угодьями Мадуганга

Т.С. Кирсанов¹, А.В. Попкова¹, Х. Ранасингхе²

¹Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

²Университет Шри Джаяварденепуры, Нугегода, Шри-Ланка

popkova-av@rudn.ru

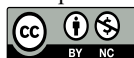
Аннотация. Мангровые лесные массивы играют важную роль в достижении углеродной нейтральности. Однако для развивающихся стран, таких как Шри-Ланка, недостаточно представлены данные об экономической ценности способности мангровых экосистем накапливать и поглощать углерод. Целью данного исследования была экономическая оценка услуг по регулированию климата на примере водно-болотных угодий Мадуганга (Шри-Ланка). Данные по накоплению углерода были рассчитаны как предельные затраты на сокращение выбросов углерода, а данные по поглощению – через расчет социальной стоимости углерода или предельной стоимости ущерба. В результате исследования установлена общая стоимость услуг по регулированию углеродного цикла водно-болотных угодий Мадуганга, которая составила 0,18 % от номинального ВВП острова Шри-Ланка на 2021 г. Высокая экономическая ценность мангровых лесных массивов Мадуганга отражает их приоритетную роль в достижении углеродной нейтральности в рамках концепции устойчивого развития.

Ключевые слова: мангровые заросли, водно-болотные угодья, экосистемные услуги, углеродная нейтральность, устойчивое развитие

Вклад авторов: Т.С. Кирсанов – выбор и обоснование методик, выполнение расчетов, исследование, обсуждение, подготовка текста публикации; А.В. Попкова и Х. Ранасингхе – концепция работы, подготовка текста публикации (рецензирование и редактирование).

История статьи: поступила в редакцию 26.04.2023; доработана после рецензирования 25.05.2023; принята к публикации 27.05.2023.

© Кирсанов Т.С., Попкова А.В., Ранасингхе Х., 2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>


Для цитирования: Кирсанов Т.С., Попкова А.В., Ранасингхе Х. Оценка экосистемных услуг по регулированию климата водно-болотными угодьями Мадуганга // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 3. С. 339–348. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-339-348>

Assessment of ecosystem services for climate regulation: case study of the Madu Ganga wetlands

Trofim S. Kirsanov¹, Anna V. Popkova¹  , Hemanthi Ranasinghe²

¹*RUDN University, Moscow, Russian Federation*

²*Forestry and Environmental Science University of Sri Jayawardenepura, Nugegoda, Sri Lanka*

 popkova-av@rudn.ru

Abstract. The ecosystem services assessment plays one of the key role in the modern concept of sustainable development, including combat climate change and achievement carbon neutrality, since the value assessment of all benefits and risks from ecosystem services is the most visible for decision makers (business and government). Mangrove forests in developing countries, such as Sri Lanka, are important factor in achieving carbon neutrality. The purpose of present investigation was the economic assessment of climate regulation services on the example of the Madu Ganga wetlands (Sri Lanka). The carbon stock was calculated as the marginal cost of reducing carbon emissions, and the sequestration was assessed through the calculation of the carbon social cost or the marginal cost of damage. As a result, the high cost of carbon storage by the Madu Ganga wetlands was revealed – approximately, it amounted to \$153,341,221. The cost of the ES for carbon sequestration was \$2,153,424. The total cost of services to regulate the carbon cycle of the Madu Ganga wetlands was \$155,494,645, or 0.18% of the nominal GDP of the island of Sri Lanka for 2021. The high value of the mangrove forests of Madu Ganga shows their crucial role in achieving carbon neutrality within the framework of the concept of sustainable development.

Keywords: mangroves, wetlands, ecosystem services, carbon neutrality, sustainable development

Authors' contributions: *T.S. Kirsanov* – methods' selection, calculations, research, discussion, text preparation for the publication; *A.V. Popkova* and *H. Ranasinghe* – the research concept text preparation for the publication (reviewing and editing).

Article history: received 26.04.2023; revised 25.05.2023; accepted 27.05.2023.

For citation: Kirsanov TS, Popkova AV, Ranasinghe H. Assessment of ecosystem services for climate regulation: case study of the Madu Ganga wetlands. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(3):339–348. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-3-339-348>

Введение

Одной из приоритетных задач оценки экосистемных услуг является привлечение внимания лиц, принимающих решения (бизнеса и правительства), к необходимости учитывать состояние природного капитала для устойчивого

экономического роста. Для эффективной интеграции экосистемных услуг в существующие рынки необходимы комплексные методы экономической оценки [2; 20].

Мангровые лесные массивы предоставляют множество экосистемных услуг, в частности продовольствие, древесные материалы, различное сырье, регулирование климата, борьбу с загрязнением, защиту прибрежных районов, рекреационные и другие услуги [12; 19]. В дополнение мангровые экосистемы относятся к числу наиболее продуктивных экосистем и представляют собой потенциально важные поглотители углерода в биосфере, что делает их важным элементом для достижения углеродной нейтральности. Из-за высоких запасов углерода оценка экосистемных услуг мангровых лесных массивов для регулирования климата является одним из центральных направлений достижения углеродной нейтральности в рамках концепции устойчивого развития [5; 10; 15].

Поскольку многие услуги мангровых экосистем являются общественным благом, для них не существует рынков сбыта, и возможности управлять ими с помощью обычных рыночных механизмов ограничены. Более того, из-за трудностей в оценке стоимости данных услуг мангровые заросли часто недооцениваются при анализе выгод и затрат на сохранение по сравнению с коммерческим землепользованием, что приводит к их деградации и утрате [7].

Развивающиеся страны вносят вклад в достижение углеродной нейтральности, в том числе из-за большого потенциала регулирования углеродных циклов. Например, Cooray et al. [3] установили, что более 10 % территории острова Шри-Ланка занимают мангровые леса, обладающие богатыми запасами углерода. Hernández-Blanco et al. [6] также отмечают значительную роль мангровых лесных массивов Коста-Рики в мировом углеродном цикле [3; 6].

Несмотря на важность оценки экосистемных услуг по регулированию климата для устойчивого развития и высокий потенциал экосистем развивающихся стран в накоплении и поглощении углерода, Sannigrahi et al. [12] отмечают, что в современной научной литературе по оценке экосистемных услуг уделяется крайне мало внимания развивающимся странам. Работы по оценке регулирования климата преимущественно сфокусированы на развитых странах Европы, Северной Америки и Азии, в то время как потенциал экосистем, в частности мангровых лесных массивов, развивающихся стран Южной Америки и Юго-Восточной Азии значительно выше [12; 13].

Цель исследования – экономическая оценка услуг по управлению климатом, предоставляемых мангровыми лесами, на примере водно-болотных угодий Мадуганга (Шри-Ланка).

Методы и объект исследования

Объект исследования. В качестве объекта исследования были выбраны водно-болотные угодья Мадуганга (Шри-Ланка). Озеро Мадуганга

с прилегающими мангровыми островами представляет собой сложную прибрежную водно-болотную экосистему, раскинувшуюся на площади более 900 гектаров и насчитывающую 64 острова (рис. 1). Бассейн реки Маду представляет собой заболоченные участки, покрытые мангровыми лесами. В этом районе произрастает 14 из 24 видов мангровых деревьев. Водно-болотные угодья Маду-Ганга были официально зарегистрированы в 2003 г. в соответствии с Рамсарской конвенцией [3; 8].

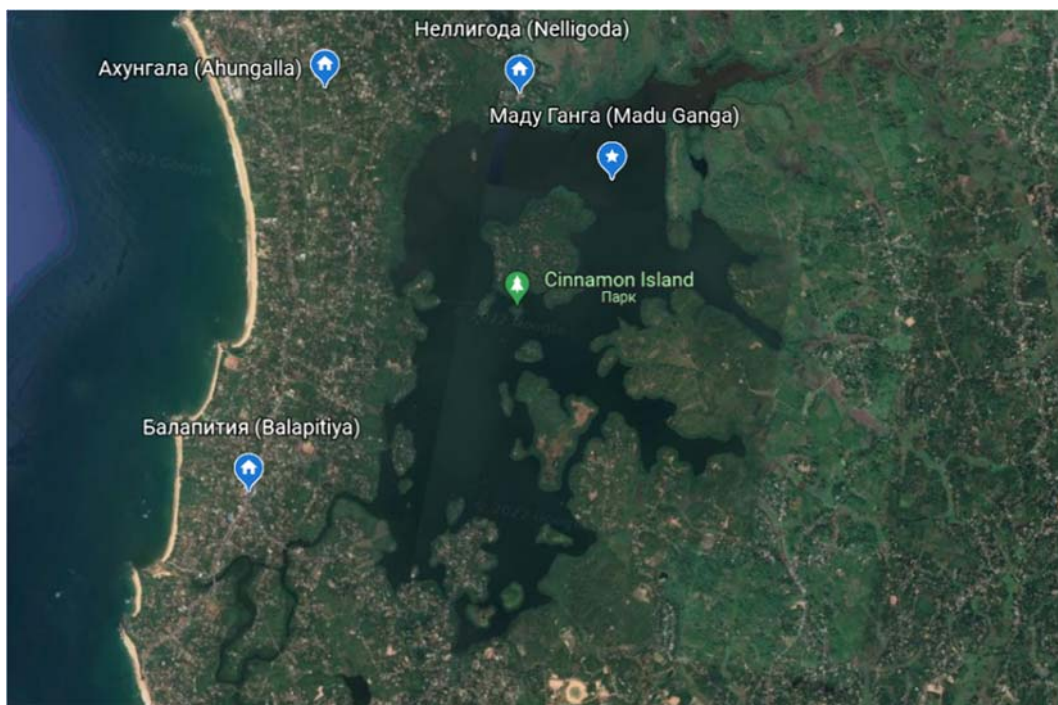


Рис. 1. Озеро и водно-болотные угодья Маду-Ганга на космическом снимке

Водно-болотные угодья Маду-Ганга находятся во влажной зоне, расположенной на юго-западе, среднегодовое количество осадков составляет более 2500 мм, причем значительная часть их обусловлена юго-западным муссоном. Характер выпадения осадков зависит от муссонных ветров Индийского океана и Бенгальского залива [8].

Климат острова Шри-Ланка – тропический. Средняя температура в районе угодий Маду-Ганга составляет около 27–28 °С, опускаясь в минимуме до 22–24 °С и достигая 31–32 °С максимально [3].

Методика экономической оценки накопления углерода. Для оценки экономической ценности накопления органического углерода в мангровых лесах Маду-Ганга использовался метод, разработанный Fisher et al. [4] для Четвертого оценочного доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) и представляющий собой расчёт предельных затрат на сокращение выбросов углерода как количество запаса углерода на гектар

(*MAC*) [6; 8]. Средний показатель предельных затрат, предоставленный Fisher et al. [4], был пересчитан согласно коэффициенту инфляции и составил 169,78 долл. США за тонну на 2022 год [4; 16].

Для оценки стоимости услуги по накоплению углерода мангровыми зарослями использовалась следующая формула:

$$V_{cs} = TC \times MAC \times A_m,$$

где V_{cs} – стоимость накопления углерода; TC – общий запас углерода на гектар; MAC – предельные затраты на контроль выбросов одной тонны углерода; A_m – площадь мангровых зарослей в гектарах [8; 15].

Методика экономической оценки поглощения углерода. Для оценки поглощения углерода проведен расчет социальной стоимости углерода (*SCC*), или предельной стоимости ущерба, опробованный Hernández-Blanco et al. [6]. Этот параметр определяется как чистая приведенная стоимость дополнительного ущерба для окружающей среды и общества в результате увеличения выбросов углекислого газа [8; 11; 20].

Поскольку *SCC* теоретически отражает то, что общество должно быть готово платить сейчас, чтобы избежать будущего ущерба, вызванного увеличением выбросов CO_2 [7], то для данной работы *SCC* был приравнен к налогу Пигуви (налогу на рыночную деятельность) [6; 11; 14].

Поглощение углерода как экосистемная услуга оценивалось с использованием следующей формулы:

$$V_{cseq} = SR \times SCC \times 3,67 \times A_m,$$

где V_{cseq} – стоимость услуг по связыванию углерода; SR – коэффициент поглощения в тоннах CO_{2eq} на гектар в год; 3,67 – коэффициент пересчета для получения CO_{2eq} из C ; A_m – площадь мангровых зарослей в гектарах; SCC – социальные издержки углерода, оцененного в метаанализе, который Tol [14] провел с использованием 311 опубликованных оценок [8; 17].

Окончательная стоимость *SCC* на 2022 г. составила 108,66 долл. США/*TS* [11]. Коэффициент поглощения SR для мангровых зарослей был взят из данных Murray et al. [9], а также Maldonado & Zarate-Barrera [18] и равен 6 $CO_{2eq}/га/год$ [1; 14].

Для получения данных о запасе углерода были использованы данные спутниковых снимков, взятые из базы данных Landviewer Sentinel-2 EOS.com за 29.06.2022. Для отражения данных использовались спектры NDWI и NDVI.

Результаты и их обсуждение

Данные о запасах наземного углерода были получены в результате исследования Coora et al. [3] и экстраполированы на исследуемую территорию на основе анализа спутниковых изображений водно-болотных угодий в спектрах NDVI и NDWI (рис. 2, 3) [9; 18].

Выявлено, что запасы углерода на гектар в районе озера Мадуганга отличаются от запасов углерода на гектар в озере Рандомбе и составляют приблизительно 804,71 мгК/га на 3 м глубины для озера Мадуганга до 1455,39 мгК/га на глубине 3 м для озера Рандомбе [9].

Проведенные расчеты показали, что существенные различия в площадях исследуемых районов практически компенсируются разницей в показателях запаса углерода на гектар – этот показатель для водно-болотных угодий озера Рандомбе в несколько раз выше аналогичного показателя для земель озера Маду-Ганга. В результате разница в показателе накопленного углерода на исследуемых территориях в несколько раз ниже ожидаемого и составляет 502 943,75 мг для озера Маду-Ганга и 400 232,25 мг для озера Рандомбе.

Стоимость хранения углерода в качестве экосистемной услуги составляет 85 389 790 долл. США для озера Маду-Ганга и 67 951 431 доллар США для озера Рандомбе, общая стоимость хранения углерода (V_{cs}) на водно-болотных угодьях Маду-Ганга составила 153 341 221 долл. США.



Рис. 2. Водно-болотные угодья Маду-Ганга: озеро Маду-Ганга и озеро Рандомбе на изображении в спектре NDWI

Оценка экосистемной услуги по связыванию/поглощению углерода водно-болотных угодий Маду-Ганга (рис. 4) была проведена на основе данных о социальной стоимости углерода в размере 108,66 долл. США и коэффициенте поглощения CO_2eq , равном 6 т/га в год. Стоимость услуг по связыванию углерода (V_{seq}) составила приблизительно 2 153 424 долл. США.

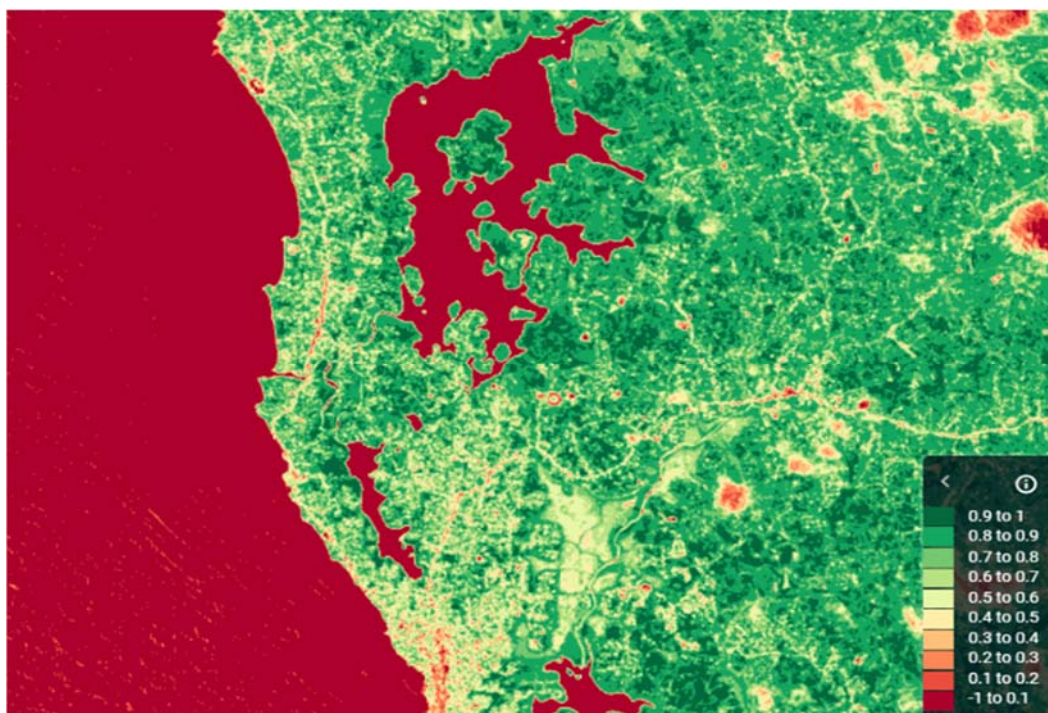


Рис. 3. Водно-болотные угодья Мадуганга: озеро Мадуганга и озеро Рандомбе на изображении в спектре NDVI

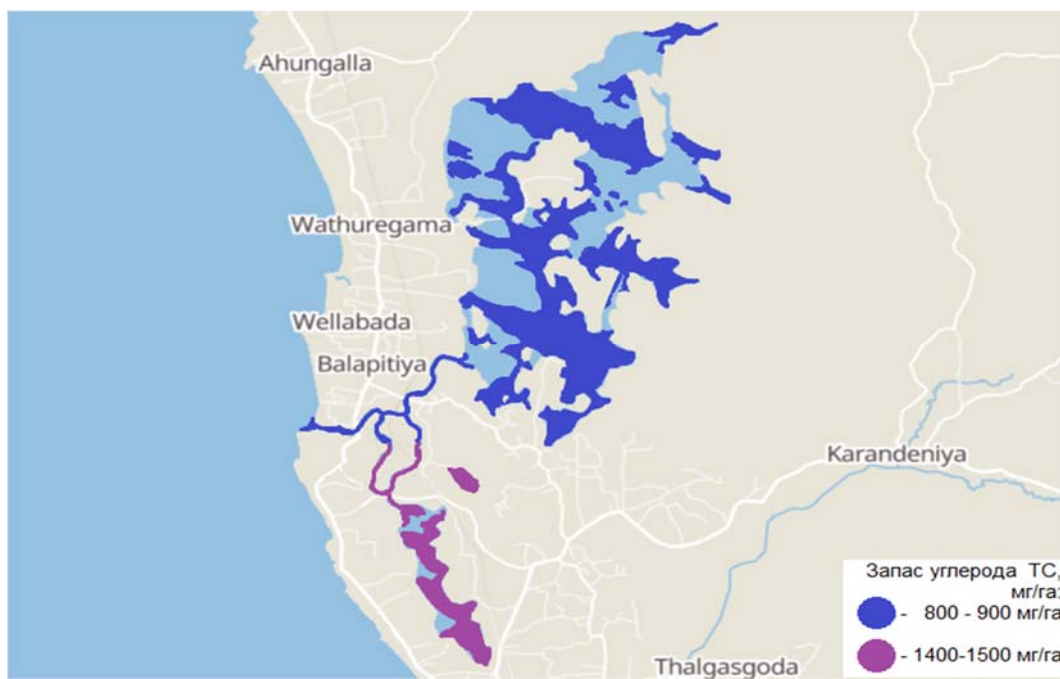


Рис. 4. Накопление углерода в водно-болотных угодьях Мадуганга: озеро Мадуганга и Рандомбе

Таблица 1. Расчет стоимости накопления углерода как экосистемной услуги

Зона исследования	Запасы углерода на гектар ТС, мг/га	Средний показатель ТС, мг/га	Площадь исследовательской зоны A_m , га	Количество накопленного углерода в зоне исследования, мг	MAC (2022), долл. США/мг	Стоимость накопления углерода как ЭУ (V_{eq}), долл. США
Озеро Мадуганга	804,71	1 130,05	625	502 943,75	169,78	85 389 789,88
Озеро Рандомбе	1 455,39		275	400 232,25	169,78	67 951 431,41
Всего			900	903 176	169,78	153 341 221,3

Таблица 2. Стоимость поглощения углерода как экосистемная услуга

Коэффициент поглощения CO_2eq (SR), т/га/год	Социальная стоимость углерода SCC (2022), долл. США/мг	Площадь исследовательской зоны A_m , га	Коэффициент пересчета для получения CO_{2eq} из C	Стоимость поглощения углерода как ЭУ (V_{eq}), долл. США
6,00	108,66	900,00	3,67	2 153 423,88

Экономические затраты на хранение углерода в качестве экосистемной услуги составили приблизительно 153 млн долл. США, а стоимость связывания, или поглощения, углерода в качестве ЭУ составила около 2 млн долл. США. Общая стоимость услуг по регулированию углеродного цикла водно-болотных угодий Мадуганга составила 155 494 645 долл. США, или 0,18 % от номинального ВВП острова Шри-Ланка, что резко контрастирует с данными Hernández-Blanco et al. [6], где средняя стоимость всех исследованных экосистемных услуг мангровых лесных массивов залива Никоя составила 0,16 % от номинального ВВП Коста-Рики. Различия в показателях в первую очередь связано с площадями мангровых лесных массивов: залив Никоя имеет площадь приблизительно 1,53 км², в то время как водно-болотные угодья Мадуганга – около 900 га, или 9 км². При этом также были выявлены значительные различия в запасах углерода на гектар: для залива Никоя размер запасов углерода составляли от 547 мгК/га до 1175 мгК/га, в то время как для водно-болотных угодий Мадуганга – от 804,71 мгК/га до 1455,39 мгК/га [3; 6].

В сравнении с данными, полученными Vo et al. [17], где общая стоимость поглощения углерода 45 876 280 долл. США (что зависит, в первую очередь, от большой площади представленных в исследовании мангровых лесов – 73 994 га), а стоимость поглощения на гектар водно-болотных угодий составила приблизительно 600 долл. США, полученная в нынешнем исследовании стоимость поглощения углерода на гектар значительно выше – при меньшей площади угодий (всего 900 га) она составила около 2200 долл. США на гектар [17].

Выводы

В результате исследования была проведена оценка стоимости экосистемных услуг водно-болотных угодий Мадуганга по регулированию

климата (накопление и связывание углерода) и установлена высокая экономическая ценность данных видов услуг для острова Шри-Ланка.

В целом экономическая ценность экосистемных услуг, определенная через предельную стоимость сокращения выбросов углерода (*MAC*) и его социальные издержки (*SCC*), демонстрирует большую роль мангровых лесов в смягчении последствий изменения климата и адаптации к ним.

Оценка может быть использована для оказания влияния на лиц, принимающих решения (правительство и бизнес-сообщество), с целью разработки стратегии сохранения водно-болотных угодий и разработки политики углеродной нейтральности.

Список литературы

- [1] *Ayukai T.* Introduction: carbon fixation and storage in mangroves and their relevance to the global climate change – a case study in Hinchinbrook Channel in northeastern Australia // *Mangroves and Salt Marshes*. 1998. Vol. 2. P. 189–190.
- [2] *Burkhard B., Maes J.* Mapping ecosystem services // *Advanced books*. 2017. P. 374.
- [3] *Cooray G.M., Sunanda Kodikara S., Kumara P., Indeewari Jayasinghe I., Madarasinghe K., Dahdouh-Guebas F., Gorman D., Huxham M., Jayatissa L.P.* Climate and intertidal zonation drive variability in the carbon stocks of Sri Lankan mangrove forests // *Geoderma*. 2021. No. 389. P. 1–13.
- [4] *Fisher B.S., Nakicenovic N., Alfsen K., Corfee-Morlot J., Chesnaye F., Hourcade J.C., Jiang K., Kainuma M., La Rovere E., Matysek A.* Issues related to mitigation in the long-term context. Cambridge University Press, 2007.
- [5] *Gattuso J.P., Frankignoulle M., Wollast R.* Carbon and carbonate metabolism in coastal aquatic ecosystems // *Annual Review of Ecology and Systematics*. 1998. Vol. 29. P. 405–434.
- [6] *Hernández-Blanco M., Costanza R., Cifuentes-Jara M.* Economic valuation of the ecosystem services provided by the mangroves of the Gulf of Nicoya using a hybrid methodology // *Ecosystem Services*. 2021. Vol. 49. P. 1–24.
- [7] *Jerath M.* The role of economic, policy, and ecological factors in estimating the value of carbon stocks in Everglades mangrove forests, South Florida, USA // *Environmental Science & Policy*. 2016, Vol. 66. P. 160–169.
- [8] Maduganga, Ramsar Sites Information Service. December 11, 2003. Available at: <https://rsis Ramsar.org/ris/1372>. Accessed: October 5, 2022. [Maduganga, Ramsar Sites Information Service. December 11, 2003].
- [9] *Murray B.C., Jenkins W.A., Sifleet S., Pendleton L., Baldera A.* Payments for blue carbon: Potential for protecting threatened coastal habitats // *Policy Brief*, Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions. 2010. P. 1–8.
- [10] *Ong J.E.* Mangroves – a carbon source and sink // *Chemosphere*. 1993. Vol. 27. P. 1097–1107.
- [11] *Russi D., Brink P., Farmer A., Badura T., Coates D., Forster J., Kumar R., Davidson N.* The economics of ecosystems and biodiversity for water and wetlands // *IEEP*. 2013. Vol. 78.
- [12] *Sannigrahi S., Zhang Q., Pilla F., Joshi P.K., Basu B., Keesstra S., Roy P.S., Wang Y., Sutton P.C., Chakraborti S., Paul S.K., Sen S.* Responses of ecosystem services to natural and anthropogenic forcings: A spatial regression-based assessment in the world’s largest mangrove ecosystem // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 715. P. 1–13.

- [13] *Scharlemann J.P., Tanner E., Hiederer R., Kapos V.* Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool // *Carbon Management*. 2014. Vol. 5, no. 1. P. 81–91.
- [14] *Tol R.S.* The social cost of carbon // *Annual Review of Environment and Resources*. 2011. Vol. 3, no. 1. P. 419–443.
- [15] *Twilley R.R., Chen R.H., Hargis T.* Carbon sinks in mangroves and their implications to carbon budget of tropical coastal ecosystems // *Water Air Soil Pollution*. 1992. Vol. 64. P. 264–288.
- [16] *Ayukai T.* Introduction: carbon fixation and storage in mangroves and their relevance to the global climate change – a case study in Hinchinbrook Channel in northeastern Australia // *Mangroves and Salt Marshes*. 1998. Vol. 2. P. 189–190.
- [17] *Vo T.Q., Kuenzer C., Oppelt N.* How remote sensing supports mangrove ecosystem service valuation: A case study in Ca Mau province, Vietnam // *Ecosystem Services*. 2015. Vol. 14. P. 67–75.
- [18] *Zarate-Barrera T.G., Maldonado J.H.* Valuing Blue Carbon: Carbon Sequestration Benefits Provided by the Marine Protected Areas in Colombia // *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10, no. 5. P. 1–22.
- [19] *Бобылев С.Н., Захаров В.М.* Экосистемные услуги и экономика // *Институт устойчивого развития*, 2009. С. 72.
- [20] *Тихонова Т.В.* Современные методы оценки экосистемных услуг и потенциал их применения на практике // *Известия Коми научного центра УРО РАН*. 2018. Т. 4, № 36. С. 122–135.

Сведения об авторах:

Курсанов Трофим Сергеевич, студент, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: 1032212485@pfur.ru

Попкова Анна Владимировна, кандидат биологических наук, старший преподаватель департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-2435-954X. E-mail: popkova-av@rudn.ru

Ранасингхе Хеманти – профессор, старший профессор в области лесного хозяйства и наук об окружающей среде, Университет Шри Джаяварденепуры, Нугеода, Шри-Ланка, дипломированный специалист по охране окружающей среды – CEnv – Институт специалистов по охране окружающей среды Шри-Ланки (IEPSL), председатель академической и экзаменационной комиссии IEPSL, редактор Шри-Ланкийской ассоциации по повышению качества и производительности (SLAAQP), сопредседатель SEM MCOП в Южной Азии, советник. E-mail: info@sjp.ac.lk