



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-1-30-39


EDN: RRNIKK

УДК 574

Обзорная статья / Review article

Исследования углеродного баланса в Японии

А.И. Банчева  

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Москва, Российская Федерация
ban-sai@mail.ru*

Аннотация. Представлен обзор научных публикаций о потоках углерода в наземных экосистемах Японии, проиндексированных в базе данных Scopus за период 2017–2021 гг. Внутри обозначенной темы выделены подтемы, по которым отмечено наибольшее число статей: потоки углерода в почвах, в наземной фитомассе (преимущественно это исследования экосистем острова Хоккайдо); особенности поглощения углекислого газа различными видами растений, а также изменения баланса углерода, связанные с вырубками, лесовосстановлением и таким природным явлением, как тайфуны. Обозначены наиболее активные по публикациям организации (ряд научно-исследовательских институтов и университетов): научный институт лесного хозяйства (Япония), национальная сельскохозяйственная и продовольственная научная организация (Япония) и Университет Хоккайдо (Япония).

Ключевые слова: наукометрия, библиометрический обзор, изменение климата, поглощение углекислого газа, Парижское соглашение

Благодарности и финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания «Анализ региональных геоэкологических проблем в условиях глобальных изменений окружающей среды».

История статьи: поступила в редакцию 23.08.2022; доработана после рецензирования 12.11.2022; принята к публикации 11.01.2023.

© Банчева А.И., 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: Банчева А.И. Исследования углеродного баланса в Японии // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 1. С. 30–39. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-30-39>

Research on carbon balance in Japan

Alexandra I. Bancheva  

Lomonosov MSU, Moscow, Russian Federation

 ban-sai@mail.ru

Abstract. The article presents an overview of scientific publications on the subject of the study «carbon balance in terrestrial ecosystems», made for the territory of Japan and indexed in the Scopus database for the period 2017–2021. Within this theme, the areas with the highest number of articles are highlighted: carbon fluxes in soils, carbon stocks in above ground phytomass (mainly studies of the ecosystems of Hokkaido), features of carbon dioxide sequestration by various plant species typical for Japan, as well as the carbon balance dynamics associated with deforestation, reforestation and natural phenomena such as typhoons. The most active in publishing activity scientific and academic institutions were identified (Forestry and Forest Products Research Institute; National Agriculture and Food Research Organization; Hokkaido University).

Keywords: climate change adaptation, carbon dioxide sequestration, Paris agreement

Acknowledgements and funding. The work was carried out within the state task “Analysis of regional geo-ecological problems in the conditions of global environmental changes”.

Article history: received 23.08.2022; revised 12.11.2022; accepted 11.01.2023

For citation: Bancheva AI. Research on carbon balance in Japan. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(1):30–39. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-1-30-39>

Введение

Круговорот углерода в биосфере и возможности адаптации экосистем к изменениям климата являются крайне значимыми и актуальными вопросами в геоэкологии как с теоретической, так и с практической точки зрения. Мировое сообщество, а особенно страны – участницы Парижского соглашения, стремится к декарбонизации своих экономик, ставя цели по а) снижению выбросов парниковых газов (прежде всего CO₂) и б) устойчивому управлению экосистемами, поглощающими CO₂. И если для достижения первой цели выработан и уже применяется ряд инструментов (использование наилучших доступных технологий, развитие возобновляемых источников энергии, повышение энергоэффективности и т.д.), то для достижения второй необходима работа этапа научных исследований, способных дать корректные оценки баланса углерода экосистемами в каждом из государств (полевые наблюдения, в частности мониторинг, а также расчеты

и моделирование) для выработки дальнейших практических решений. Япония обладает большим научно-исследовательским потенциалом, в том числе и в естественных науках, поэтому изучение и обобщение работ коллективов японских ученых по обозначенной теме представляется актуальным и чрезвычайно важным. Цель исследования – дать обзор и провести первичный анализ научных публикаций, выполненных для Японии, по тематике углеродного баланса.

Методика

Библиометрический анализ проведен на основе реферативной базы данных Scopus¹. Базовый запрос на поиск статей включал следующие ключевые фразы: *TITLE-ABS-KEY (“carbon balance” OR “carbon stock” OR “carbon sink” OR “carbon storage”) AND TITLE-ABS-KEY (Japan)*. Поиск осуществлялся по трем атрибутам: названию статьи, краткому описанию и ключевым словам. К полученным результатам применены фильтры: временной интервал 2017–2021 гг., отрасли знаний «Науки об окружающей среде», «Агрономия и биология», «Науки о планете Земля».

Результаты

Согласно первичному анализу результатов поиска, результаты которого Scopus предоставляет автоматически, можно зафиксировать следующее. Ежегодно индексируется порядка 15–20 статей, а за обозначенный пятилетний период – 90². Тренд в количестве публикаций в целом положительный (с 1970-х гг.), однако за последние 10 лет отмечается небольшой спад.

Абсолютное большинство публикаций – научные статьи, *research article* (только 4 из них – обзоры, *review article*). Аффилиация авторов – преимущественно японские организации (70 из 90 статей), лидерами являются научный институт лесного хозяйства (Япония), национальная сельскохозяйственная и продовольственная научная организация (Япония) и Университет Хоккайдо (Япония). Примечательно, что среди организаций присутствует и китайская академия наук, ученые которой проводят исследования в сотрудничестве с японцами.

Дальнейшее знакомство с аннотациями статей позволило отфильтровать около 70 % наиболее релевантных и сгруппировать их по тематическим направлениям, которые будут рассмотрены ниже.

¹ Scopus [Internet]. Abstract and citation database [cited 27 May 2022]. Available from: <https://www.scopus.com/home.uri> (accessed: 23.07.2022)

² Для сравнения нами был также осуществлен поиск по японским базам данных J-Stage и CiNii. Так, по запросу (カーボンバランス OR 炭素貯蔵 OR カーボンストレージ) AND 日本 было получено около 50 статей, преимущественно на японском языке (временной интервал 2017–2021 гг.).

Первый вариант группировки статей мы осуществили в соответствии с подходом МГЭИК и распределили статьи по пяти группам – по пулам углерода (надземная и подземная фитомасса, сухостой (и валежник), подстилка и почва). Естественно, данная классификация подошла не для всех статей. Тем не менее, распределив большую часть статей по обозначенным группам, отмечено, что лидирует группа с исследованиями потоков углерода в почвах [1–16]. Многие из обозначенных статей посвящены характерным для Японии почвам – андосолям.

Большое количество статей отнесено ко второй группе: потоки углерода в *надземной фитомассе* [17–25], часть из которых посвящено балансу углерода экосистем умеренных лесов, преимущественно на примере о. Хоккайдо [23; 26], часть – мангровым лесам [5; 7; 27–29], а также луговым сообществам, *grasslands* [9; 30].

Всего одна статья из найденных посвящена изучению потоков углерода в *подземной фитомассе* [31] и две – исследованиям пула углерода в *сухостое и валежнике* [32; 33].

Второй вариант группировки статей по тематическим группам стал возможен после более детального знакомства с аннотациями статей.

Например, мы выделили блок исследований, посвященных особенностям *поглощения углекислого газа различными растениями*. Таких статей достаточно много, объектом изучения в них являются такие растения, как кипарисовик туполистный, дуб пильчатый, листоколосник бамбуковый, криптомерия японская, сосна густоцветковая, пихта сильная, мискантус китайский, трема восточная, виды бамбука и лианы – типичные представители растительных сообществ в Японии [17–20; 31; 34–36].

Другой пример – это публикации про *оценки потоков углерода в экосистемах в контексте каких-либо природных или антропогенных изменений*. Часто в статьях обсуждается фактор *изменения климата* (т.е. фактор различных температурных и влажностных характеристик климата или их изменения) [17; 20; 28; 35–37; 28] и фактор *смены режима землепользования*. Например, авторы обсуждают влияние различных подходов в пахоте (в том числе и безпахотной практики с.-х.) [2; 30] и применения практики севооборота (рисовые чеки и поля на возвышенных равнинах) [38], практики залесения [6], выборочных рубок [25] и рубок ухода [39]. Особенно интересны статьи и об изменениях в стоке углерода в почвах после смены земельного покрова из леса в сельскохозяйственные угодья [10] и при зарастании заброшенных рисовых полей инвазивными видами [40]. В обоих случаях авторы отмечают снижение поглощения углерода в почвах.

В ряде статей рассматривается такой фактор, как *стихийные природные явления*, здесь отмечаются характерные для японских ученых темы. Например, статьи о влиянии тайфунов и ветровалов на углеродный баланс [33; 39; 41].

Значимое место обозначенных тематических групп в общем пуле публикаций подтверждает и «облако слов», созданное на основе текстов аннотаций найденных статей (рис. 1).

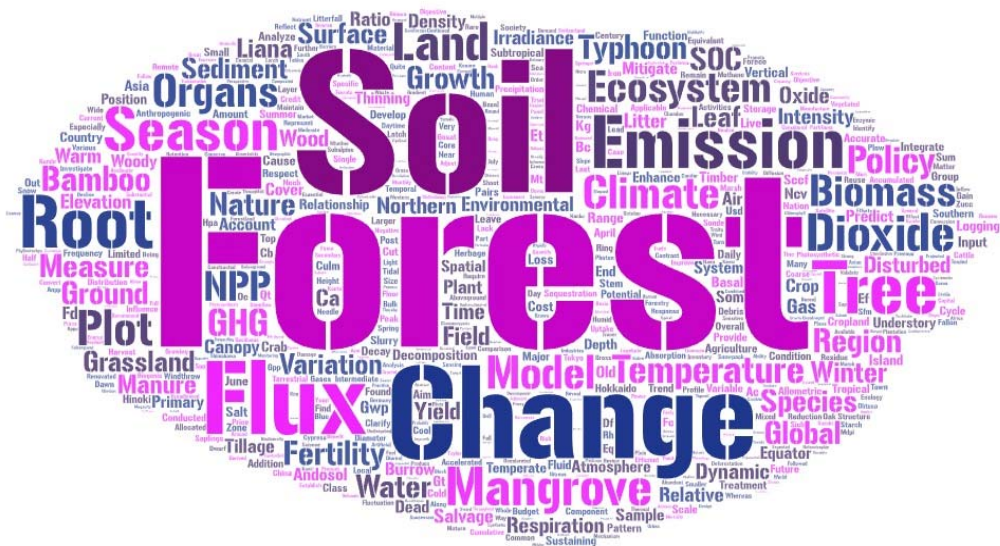


Рис. 1. Облако слов на основе текстов аннотаций
(составлено автором с помощью <https://wordart.com/>) /
Figure 1. The word cloud based on abstracts (compiled by the author at <https://wordart.com/>)

К слову об изменении климата и лесохозяйственной деятельности, можно отметить, что несколько статей посвящены *оценке экосистемных функций* лесов в целом, в том числе вопросам *лесоклиматических проектов* [42–45].

Так, Ноjo с соавторами рассматривает концепцию оценки стоимости природного капитала и опыт города Симокава (префектура Хоккайдо). В исследовании была проведена эколого-экономическая оценка всех экосистемных услуг города и отмечена существенная роль устойчивого управления лесами. Представлен вывод о том, что прирост деревьев превышает объемы лесозаготовки, а ассимиляционные функции лесов по поглощению CO₂ значительно превышают выбросы от производственных объектов и жилого сектора [43].

Также оценка экосистемных услуг и баланса углерода приводится и в работах Passarelli и Nakano, выполненных в области традиционно сильного направления для Японии – утилизации отходов: автор исследует вопрос переработки деревянных панелей и ее экологический эффект [45; 47].

В отдельную группу выделяются статьи *методического характера*, в которых авторы рассматривают новые модели и методы оценок стока углерода, апробированные на лесных территориях о. Хоккайдо [48; 49] или в крупнейших агломерациях [50].

Заключение

В статье представлен библиометрический обзор статей по вопросам баланса углерода в экосистемах Японии, индексированных в базе данных Scopus в 2017–2021 гг. Определены наиболее активные по публикациям

организации (преимущественно японской аффилиации), а также направления, наиболее активно освещенные в публикациях. Это поток углерода в почвах, поток углерода в мангровых лесах, в лесах умеренного пояса, в луговых экосистемах, динамика потока углерода, связанная с воздействием тайфунов и с вырубками, а также лесопосадками. Отдельный пул статей посвящен биологическим исследованиям особенностей поглощения углерода конкретными ботаническими видами деревьев и трав, характерных для Японии. Ряд статей носят методический характер, что подтверждает наличие у Японии сильной научной школы исследований, связанных с углеродным балансом.

Опыт поиска статей в реферативных базах данных показал необходимость осуществления нескольких подходов к поиску (со схожими, но не идентичными ключевыми словами в запросе), а также необходимость качественной оценки результатов поиска (в том числе по названиям и аннотациям) и отбора релевантных статей перед дальнейшей работой. Также более детальный поиск и учет статей на японском языке может существенно расширить круг публикаций и стать предметом для библиометрического исследования в будущем.

Список литературы / References

- [1] Chen S, Yoshitake S, Iimura Y, Asai C, Ohtsuka T. Dissolved organic carbon (DOC) input to the soil: DOC fluxes and their partitions during the growing season in a cool-temperate broad-leaved deciduous forest, central Japan. *Ecological Research*. 2017;32(5):713–724. <http://doi.org/10.1007/s11284-017-1488-6>
- [2] Gong Y, Li P, Lu W, Nishiwaki J, Komatsuzaki M. Response of soil carbon dioxide emissions to no-tillage and moldboard plow systems on andosols in a humid, subtropical climate, Japan. *Geoderma*. 2021;386. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114920>
- [3] Kamarudin KN, Tomita M, Kondo K, Abe SS. Geostatistical estimation of surface soil carbon stock in Mt Wakakusa grassland of Japan. *Landscape and Ecological Engineering*. 2019;15(2):215–221. <http://doi.org/10.1007/s11355-019-00370-1>
- [4] Hasukawa H, Inoda Y, Toritsuka S, Sudo S, Oura N, Sano T, et al. Effect of paddy-upland rotation system on the net greenhouse gas balance as the sum of methane and nitrous oxide emissions and soil carbon storage: A case in western Japan. *Agriculture (Switzerland)*. 2021;11(1):1–16. <http://doi.org/10.3390/agriculture11010052>
- [5] Iimura Y, Kinjo K, Kondo M, Ohtsuka T. Soil carbon stocks and their primary origin at mature mangrove ecosystems in the estuary of Fukido river, Ishigaki Island, southwestern Japan. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2019;65(5):435–443. <http://doi.org/10.1080/00380768.2019.1660589>
- [6] Ishizuka S, Hashimoto S, Kaneko S, Tsuruta K, Kida K, Aizawa S, et al. Soil carbon stock changes due to afforestation in Japan by the paired sampling method on an equivalent mass basis. *Biogeochemistry*. 2021;153(3):263–281. <http://doi.org/10.1007/s10533-021-00786-8>
- [7] Kim J, Lee J, Yang Y, Yun J, Ding W, Yuan J, et al. Microbial decomposition of soil organic matter determined by edaphic characteristics of mangrove forests in east Asia. *Science of the Total Environment*. 2021;(763). <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142972>

- [8] Kim Y, Tsunogai S, Tanaka N. Winter CH₄ oxidation in cold-temperate grassland soils of northern Japan: 222Rn as a proxy for the validation of CH₄ diffusivity. *Polar Science*. 2021;(29). <http://doi.org/10.1016/j.polar.2021.100681>
- [9] Kitamura R, Sugiyama C, Yasuda K, Nagatake A, Yuan Y, Du J, et al. Effects of three types of organic fertilizers on greenhouse gas emissions in a grassland on andosol in southern Hokkaido, Japan. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021;(5). <http://doi.org/10.3389/fsufs.2021.649613>
- [10] Koga N, Shimoda S, Shirato Y, Kusaba T, Shima T, Niimi H, et al. Assessing changes in soil carbon stocks after land use conversion from forest land to agricultural land in Japan. *Geoderma* 2020;(377). <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114487>
- [11] Koga N. Tillage, fertilizer type, and plant residue input impacts on soil carbon sequestration rates on a Japanese andosol. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2017;63(4):396–404. <http://doi.org/10.1080/00380768.2017.1355725>
- [12] Matsui K, Takata Y, Matsuura S, Wagai R. Soil organic carbon was more strongly linked with soil phosphate fixing capacity than with clay content across 20,000 agricultural soils in Japan: A potential role of reactive aluminum revealed by soil database approach. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2021;67(3):233–242. <http://doi.org/10.1080/00380768.2021.1902750>
- [13] Matsuura E, Komatsuzaki M, Hashimi R. Assessment of soil organic carbon storage in vegetable farms using different farming practices in the Kanto region of Japan. *Sustainability*. 2018;10(1). <http://doi.org/10.3390/su10010152>
- [14] Nanko K, Hashimoto S, Miura S, Ishizuka S, Sakai Y, Levia DF, et al. Assessment of soil group, site and climatic effects on soil organic carbon stocks of topsoil in Japanese forests. *European Journal of Soil Science*. 2017;68(4):547–558. <http://doi.org/10.1111/ejss.12444>
- [15] Takakai F, Hatakeyama K, Nishida M, Nagata O, Sato T, Kaneta Y. Effect of the long-term application of organic matter on soil carbon accumulation and GHG emissions from a rice paddy field in a cool-temperate region, Japan-II. effect of different compost applications. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2020;66(1):96–105.
- [16] Takakai F, Kominami Y, Ohno S, Nagata O. Effect of the long-term application of organic matter on soil carbon accumulation and GHG emissions from a rice paddy field in a cool-temperate region, Japan. -I. comparison of rice straw and rice straw compost. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2020;66(1):84–95. <http://doi.org/10.1080/00380768.2019.1609335>
- [17] Araki MG, Gyokusen K, Kajimoto T. Vertical and seasonal variations in temperature responses of leaf respiration in a *Chamaecyparis obtusa* canopy. *Tree Physiology*. 2017;37(10), 1269–1284. <http://doi.org/10.1093/treephys/tpx012>
- [18] Ichihashi R, Chiu C-W, Komatsu H, Kume T, Shinohara Y, Tateishi M, et al. Contribution of lianas to community-level canopy transpiration in a warm-temperate forest. *Functional Ecology*. 2017;31(9):1690–2699. <http://doi.org/10.1111/1365-2435.12881>
- [19] Inoue A, Miyazawa Y, Sato M, Shima H. Allometric equations for predicting culm surface area of three bamboo species (*Phyllostachys* spp.). *Forests*. 2018;9(6). <http://doi.org/10.3390/f9060295>
- [20] Kenzo T, Yoneda R, Ninomiya I. Seasonal changes in photosynthesis and starch content in Japanese fir (*Abies firma* Sieb. et Zucc.) saplings under different levels of irradiance. *Trees – Structure and Function*. 2018;32(2):429–439. <http://doi.org/10.1007/s00468-017-1640-5>

- [21] Kohyama TS, Potts MD, Kohyama TI, Niiyama K, Yao TL, Davies SJ, et al. Trade-off between standing biomass and productivity in species-rich tropical forest: Evidence, explanations and implications. *Journal of Ecology*. 2020;108(6):2571–2583. <http://doi.org/10.1111/1365-2745.13485>
- [22] Koide D, Ito A. Temporal changes in the relationship between tree-ring growth and net primary production in Northern Japan: A novel approach to the estimation of seasonal photosynthate allocation to the stem. *Ecological Research*. 2018;33(6):1275–1287. <http://doi.org/10.1007/s11284-018-1639-4>
- [23] Suzuki SN. Acceleration and deceleration of aboveground biomass accumulation rate in a temperate forest in central Japan. *Forest Ecology and Management*. 2021;479. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118550>
- [24] Takahashi K, Matsuki S. Morphological variations of the *solidago virgaurea* L. complex along an elevational gradient on Mt Norikura, central Japan. *Plant Species Biology*. 2017;32(3):238–246. <http://doi.org/10.1111/1442-1984.12148>
- [25] Teramoto M, Liang N, Takahashi Y, Zeng J, Saigusa N, Ide R, et al. Enhanced understory carbon flux components and robustness of net CO₂ exchange after thinning in a larch forest in central Japan. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2019;274:106–117. <http://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.04.008>
- [26] Egusa T, Kumagai T, Shiraishi N. Carbon stock in Japanese forests has been greatly underestimated. *Scientific Reports*. 2020;10(1). <http://doi.org/10.1038/s41598-020-64851-2>
- [27] Suwa R, Rollon R, Sharma S, Yoshikai M, Albano GMG, Ono K, et al. Mangrove biomass estimation using canopy height and wood density in the South East and East Asian regions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2021;248. <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106937>
- [28] Mori A. Greenhouse gas emissions from cut grasslands renovated with full inversion tillage, shallow tillage, and use of a tine drill in Nasu, Japan. *Agriculture (Switzerland)*. 2020;10(2). <http://doi.org/10.3390/agriculture10020031>
- [29] Tomotsune M, Yoshitake S, Iimura Y, Kida M, Fujitake N, Koizumi H, et al. Effects of soil temperature and tidal condition on variation in carbon dioxide flux from soil sediment in a subtropical mangrove forest. *Journal of Tropical Ecology*. 2018;34(4):268–275. <http://doi.org/10.1017/S026646741800024X>
- [30] Tomotsune M, Arai H, Yoshitake S, Kida M, Fujitake N, Kinjo K, et al. Effect of crab burrows on CO₂ flux from the sediment surface to the atmosphere in a subtropical mangrove forest on Ishigaki Island, Southwestern Japan. *Estuaries and Coasts*. 2020;43(1):102–110. <http://doi.org/10.1007/s12237-019-00667-2>
- [31] An JY, Osawa A. Seasonal patterns of fine root dynamics and their contribution to net primary production in hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*) and konara oak (*Quercus serrata*) forests. *Trees – Structure and Function*. 2021;35(1):255–271. <http://doi.org/10.1007/s00468-020-02030-6>
- [32] Takeda S, Takahashi K. Elevational variation in abundance of coarse woody debris in subalpine forests, central Japan. *Forest Ecology and Management*. 2020;473. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118295>
- [33] Suzuki SN, Tsunoda T, Nishimura N, Morimoto J, Suzuki J-. Dead wood offsets the reduced live wood carbon stock in forests over 50 years after a stand-replacing wind disturbance. *Forest Ecology and Management*. 2019;432:94–101. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.054>
- [34] Yuen JQ, Fung T, Ziegler AD. Carbon stocks in bamboo ecosystems worldwide: Estimates and uncertainties. *Forest Ecology and Management*. 2017;393:113–138. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.01.017>

- [35] Kono Y, Ishida A, Saiki S-T, Yoshimura K, Dannoura M, Yazaki K, et al. Initial hydraulic failure followed by late-stage carbon starvation leads to drought-induced death in the tree *Trema orientalis*. *Communications Biology*. 2019;2(1). <http://doi.org/10.1038/s42003-018-0256-7>
- [36] Lei T. The summer-deciduous habit of *Daphne pseudomezereum* is a response to warm summer as cooling converts it to an evergreen. *Plant Ecology*. 2020;221(6):431–440. <http://doi.org/10.1007/s11258-020-01023-2>
- [37] Yamochi S, Tanaka T, Otani Y, Endo T. Effects of light, temperature and ground water level on the CO₂ flux of the sediment in the high water temperature seasons at the artificial north salt marsh of Osaka Nanko bird sanctuary, Japan. *Ecological Engineering*. 2017;98:330–338. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.09.012>
- [38] Hasukawa, H., Inoda, Y., Toritsuka, S., Sudo, S., Oura, N., Sano, T., et al. Effect of paddy-upland rotation system on the net greenhouse gas balance as the sum of methane and nitrous oxide emissions and soil carbon storage: A case in western Japan. *Agriculture (Switzerland)*. 2021;11(1):1–16. <http://doi.org/10.3390/agriculture11010052>
- [39] Hotta W, Morimoto J, Inoue T, Suzuki SN, Umebayashi T, Owari T, et al. Recovery and allocation of carbon stocks in boreal forests 64 years after catastrophic windthrow and salvage logging in northern Japan. *Forest Ecology and Management*. 2020;468. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118169>
- [40] Shimoda S, Wagai R. Ecosystem dynamics after abandonment of rice paddy fields: Does alien plant invasion enhance carbon storage? *Ecosystems*. 2020;23(3):617–629. <http://doi.org/10.1007/s10021-019-00426-1>
- [41] Wu L, Kato T, Sato H, Hirano T, Yazaki T. Sensitivity analysis of the typhoon disturbance effect on forest dynamics and carbon balance in the future in a cool-temperate forest in northern Japan by using SEIB-DGVM. *Forest Ecology and Management*. 2019;451. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117529>
- [42] Akita N, Ohe Y. Sustainable forest management evaluation using carbon credits: From production to environmental forests. *Forests*. 2021;12(8). <http://doi.org/10.3390/f12081016>
- [43] Hojo A, Tsuji N, Kasuga T, Osaki M. Natural capital evaluation in the FutureCity of Shimokawa, northern Japan, based on forest economics. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2021;193(12). <http://doi.org/10.1007/s10661-021-09434-y>
- [44] Yoshida T, Naito S, Nagumo M, Hyodo N, Inoue T, Umegane H, Yamazaki H, Miya H, Nakamura F. Structural complexity and ecosystem functions in a natural mixed forest under a single-tree selection silviculture. *Sustainability (Switzerland)*. 2017;9(11). <http://doi.org/10.3390/su9112093>
- [45] Yousefpour R, Nakamura N, Matsumura N. Forest management approaches for climate change mitigation and adaptation: A comparison between Germany and Japan. *Journal of Sustainable Forestry*. 2020;39(6):635–653. <http://doi.org/10.1080/10549811.2020.1771376>
- [46] Passarelli, R. N. (2018). The environmental impact of reused CLT panels: Study of a single-storey commercial building in Japan. *Proceedings of the WCTE 2018 – World Conference on Timber Engineering*; Seoul, South Korea; 2018.
- [47] Nakano K, Koike W, Yamagishi K, Hattori N. Environmental impacts of cross-laminated timber production in Japan. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2020;22(10):2193–2205. <http://doi.org/10.1007/s10098-020-01948-2>

- [48] Koide D, Ito A. Temporal changes in the relationship between tree-ring growth and net primary production in northern Japan: A novel approach to the estimation of seasonal photosynthate allocation to the stem. *Ecological Research*. 2018;33(6):1275–1287. <http://doi.org/10.1007/s11284-018-1639-4>
- [49] Nomura, S., Mukai, H., Terao, Y., Takagi, K., Mohamad, M., & Jahaya, M. F. Evaluation of forest CO₂ fluxes from sonde measurements in three different climatological areas including Borneo, Malaysia, and Iriomote and Hokkaido, Japan. *Chemical and Physical Meteorology*. 2018;70(1). <http://doi.org/10.1080/16000889.2018.1426316>
- [50] Wang Q, Imasu R, Arai Y, Ito S, Mizoguchi Y, Kondo H, et al. Sub-daily natural CO₂ flux simulation based on satellite data: Diurnal and seasonal pattern comparisons to anthropogenic CO₂ emissions in the greater Tokyo area. *Remote Sensing*. 2021;13(11). <http://doi.org/10.3390/rs13112037>

Сведения об авторе:

Банчева Александра Ивановна, кандидат географических наук, научный сотрудник, кафедра физической географии мира, географический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинские Горы, д. 1. ORCID: 0000-0001-5845-2833. SPIN-код: 1495-9863. E-mail: ban-sai@mail.ru

Bio note:

Alexandra I. Bancheva, Ph.D. in Geography, Researcher, Department of Physical Geography of the World, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-5845-2833. SPIN-код: 1495-9863. E-mail: ban-sai@mail.ru