



УГЛЕРОДНЫЙ СТАТУС РОССИИ И ДИНАМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ БИОСФЕРЫ

© 2022 А. В. Наумов 

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: anaumov@issa-siberia.ru

В статье рассмотрены острые дискуссионные вопросы оценки углеродного статуса наземных экосистем. Обоснована концепция динамического углеродного баланса в биосфере. Показана ошибочность положения о наземных экосистемах России как абсолютном стоке атмосферного углекислого газа. В свете новой концепции динамического равновесия углеродного цикла рассматриваются оценки годовой первичной продукции (NPP), эмиссии CO₂ с поверхности почвы (дыхание почвы, SR) и содержания углерода в сухом органическом веществе. В современных условиях соотношение NPP/SR~1 является важным количественным критерием, характеризующим углеродный статус природных наземных экосистем. Относительная стабильность климатических параметров тесно связана с большой емкостью природных резервуаров углерода и механизмом системной адаптации биологического круговорота.

Ключевые слова: углеродный баланс; показатели; наземные экосистемы; адаптация; критерий; концепция

Цитирование: Наумов А.В. Углеродный статус России и динамическое равновесие биосферы // Почвы и окружающая среда. 2022. Том 5. № 2. e166. doi: [10.31251/pos.v5i2.166](https://doi.org/10.31251/pos.v5i2.166)

За последние 25 лет с принятием Рамочной конвенции по изменению климата (РКИК) ООН накал дискуссий о необходимости снижения антропогенных выбросов углекислого газа в атмосферу только возрастает. Политико-экономический аспект решения этой глобальной экологической проблемы со всей очевидностью становится преобладающим. Главной причиной потепления климата считается сжигание ископаемого топлива.

Согласно принципам РКИК ООН политика и меры в области защиты климатической системы должны соответствовать конкретным условиям страны. При этом под «климатической системой» понимается совокупность атмосферы, гидросферы, биосферы и геосферы в их взаимодействии. Основными показателями, характеризующими текущее состояние климатической системы, считаются средняя глобальная температура и концентрация углекислого газа атмосферы. В соответствии с принятыми обязательствами страны-участницы разрабатывают проекты и принимают меры по снижению антропогенных выбросов парниковых газов, сохранению и рациональному использованию леса, океана, наземных, прибрежных и морских экосистем.

В конце 90-х годов прошлого столетия появились первые оценки «полного углеродного баланса» для территории Российской Федерации (Nilsson et al., 2000). По расчетам авторов этого проекта, основанных на разного рода модельных показателях для промышленных секторов и наземных экосистем, Россия в 1990 году была чистым источником 527×10^{12} г С, т.е. 527 Тг С. По мнению составителей баланс диапазон неопределенности составляет около 129%. При этом не учитываются возможные отклонения промежуточных статей баланса. Отмечено, что наземные экосистемы действовали как поглотитель 149 Тг С, но в измерениях каждого отдельного процесса могли существовать неизвестные отклонения. В целом представленные оценки, по-видимому, можно использовать в качестве ориентира для понимания порядка величин отдельных показателей. Однако, на наш взгляд, совокупность разнородных величин с неизвестными отклонениями не может характеризовать «полный углеродный баланс» какой-либо территории.

Работа по оценке составляющих биотического круговорота углерода в наземных экосистемах РФ также выполнялась рядом научных институтов РАН в начале 1990-х годов (Заварзин, 1994). В дальнейшем полученные оценки потоков и запасы углерода в разных природных резервуарах уточнялись, корректировались методики балансовых расчетов. Итогом этой большой и ответственной работы стала коллективная монография (Кудяров и др., 2007). Согласно представленным в этой работе данным, территория России является абсолютным стоком в размере 1×10^9 т С/год (1 Гт/год). Этот результат с небольшой корректировкой был подтвержден и в журнальной публикации (Kurganova et al., 2010). В других работах авторы уточненных оценок, составленных по аналогичной методике, также указывают на значительный дисбаланс, т.е.

абсолютный сток углерода в наземные экосистемы России (Shvidenko et al., 2010; Dolman et al., 2012).

Эта оценка, на наш взгляд, не состоятельна в связи с тем, что природные экосистемы РФ в большинстве являются зрелыми, находящимися в состоянии экологического «климакса». В зрелых экосистемах между связанной энергией и энергией, затрачиваемой на поддержание, со временем устанавливается равновесие, а соотношение между общим фотосинтезом и суммарными тратами на дыхание $P/R \sim 1$ (Одум, 1975). Это соотношение предполагает, что в зрелых экосистемах накопленный углерод чистой первичной продукции (NPP) полностью расходуется в процессе дыхания гетеротрофов (HR). Именно разность между этими показателями составляла основную статью дисбаланса в цитированных выше публикациях. Еще раз отметим, что вывод об абсолютном стоке углерода на территории России не согласуется с представлением о зрелых экосистемах.

Кратко коснемся еще одного подхода к оценке углеродного баланса России, основанного на пространственной математической модели глобального биогеохимического цикла углерода (Тарко, 2005). В описании к модели говорится, что вся поверхность Земли была разбита на ячейки размером $0,5 \times 0,5^\circ$. Предполагается, что в каждой ячейке суши имеется растительность одного типа, согласно выбранной классификации. Рост и отмирание растительности, образование и разложение гумуса в каждой ячейке описываются системой нелинейных дифференциальных уравнений в терминах обмена углеродом между атмосферой, растительностью и почвой. Предполагается, что годовая продукция зависит от средней годовой температуры, годового количества осадков и количества углекислого газа в атмосфере. Всего модель насчитывает около 100 тысяч дифференциальных уравнений.

Не вдаваясь в детали описания модели и обоснования функциональных зависимостей для разных компонентов углеродного цикла, отметим, что основная цель такого моделирования состояла в прогнозировании поведения глобальной системы или территориальных выделов на увеличение содержания CO_2 в атмосфере. Согласно сделанному прогнозу, на территории России с 2000 по 2050 гг. будет происходить увеличение годовой продукции, увеличение биомассы и поглощение углекислого газа из атмосферы. Во всех типах экосистем будет увеличиваться количество гумуса. По модельным расчетам в 2000 г. экосистемами России было поглощено 0,373 Гт С, а промышленные выбросы составили 0,392 Гт С.

Все же оценки, прогнозы и рекомендации, основанные на столь грандиозных моделях, приходится принимать с осторожностью. Здесь мы исходим из того, что каждое уравнение или функциональная зависимость, положенные в основу модели, представляют собой, по сути, предположение о характере многочисленных взаимосвязей между компонентами системы, о совместном влиянии факторов среды на важнейшие экологические процессы с вероятностью существенно меньшей единицы. Очевидно, что вероятность состояния описываемой системы с огромным количеством условий стремится к нулю. Для экологических систем, на наш взгляд, использование минимальных моделей предпочтительнее.

Мы рассмотрели несколько основных обобщающих публикаций авторитетных ученых из ведущих научных учреждений РАН и иностранных авторов по теме углеродного статуса территории Российской Федерации. Выводы, представленные в процитированных публикациях, однозначно указывают на то, что наземные экосистемы России являются абсолютным стоком атмосферного CO_2 . На этом основании отдельные авторы предлагают включить в зачет исполнения Киотского протокола поглощение CO_2 природными экосистемами (Курбатова, Тарко, 2012) и даже ввести «углеродную ренту» за пользование ресурсом (Федоров, 2016; 2017).

Новая концепция углеродного баланса в биосфере. Не согласившись с выводом об абсолютном стоке углерода порядка 0,9-1 Гт С/год в наземные экосистемы РФ (Кудеяров и др., 2007; Kurganova et al., 2010), мы основывались на собственных исследованиях и наблюдениях. Следует принять во внимание, что за многие сотни и даже тысячи лет существования наземные экосистемы Земного шара достигли своего экологического максимума, накопив в биомассе, органических остатках и почве большое количество углерода. По-видимому, дальнейший сток из атмосферы невозможен из-за ограниченности ресурса. Адаптируясь к низкому уровню концентрации углекислого газа в атмосфере, наземные экосистемы сформировали уникальный компенсаторный механизм, позволяющий эффективно использовать высвобождающийся ресурс для поддержания высокого продукционного потенциала (адаптация экосистемного уровня).

Проведенные нами ранее исследования углеродного обмена болот Западной Сибири показали, что более 60% углерода чистой первичной продукции формируется за счет внутренних ресурсов (Наумов, 2003). Для верховых сфагновых болот лесостепной зоны, в условиях недостаточного атмосферного увлажнения, аналогичная оценка может достигать 97-98% (Naumov et al., 2020).

Будем рассматривать выделение углекислого газа с поверхности почвы (дыхание почвы, SR) в качестве высвобождающегося ресурса. Также предполагается, что между NPP и SR имеет место простая функциональная зависимость. Для оценки взаимосвязи между этими показателями мы использовали базы данных по первичной продуктивности (Базилевич, Титлянова, 2008) и дыханию почвы (Raich, Schlesinger, 1992), составленные для наземных экосистем Земли. Массивы данных разбивали на интервалы с шагом один градус в соответствии с географическими координатами. В пределах каждого интервала находили максимальное и минимальное значение и рассчитывали среднее значение показателя. Соотношение между дыханием почвы и первичной продукцией оценивали значением параметра ξ , который рассчитывали также с шагом один градус в пределах всего диапазона имеющихся в распоряжении данных. Несмотря на большое разнообразие экосистем, а также условий их функционирования, статистический анализ выборки данных, имеющихся на начало 21-го века, показал, что для NPP и SR выполняется соотношение: $\xi = 1,00 \pm 0,08 (\bar{A} \pm \sigma)$ (Naumov, 2012).

Аналогично проводили анализ данных, сгруппированных по основным типам экосистем: бореальные леса, пустыни, леса умеренной зоны, травяные экосистемы, влажные тропические леса, северные болота, саванна, тундра, лесные экосистемы Средиземноморья (Наумов, 2016). Для усредненных оценок годовой первичной продукции и дыхания почвы была построена регрессионная зависимость вида $SR [г\ C/(м^2 \cdot год)] = 45,39 \cdot NPP [т/(га \cdot год)]$ с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,80$. В этом уравнении регрессии годовая продукция выражена в тоннах сухого вещества. При этом коэффициент пропорциональности между SR и NPP оказался в хорошем соответствии с известной величиной содержания углерода в сухой фитомассе (45%) (Лархер, 1978). Это совпадение не является случайным. В свете новой концепции оно отражает глубину адаптационной перестройки, затрагивающей химический состав и структуру растительного покрова всей Земли. Следующим звеном в цепочке фактов, поддерживающих нашу концепцию, является совпадение оценок NPP и SR для всей территории Российской Федерации (Кудеяров и др., 2007).

Таким образом, на трех разных уровнях организации биотического (биологического) круговорота углерода в биосфере: основных типов наземных экосистем, географического распределения локальных потоков углерода и площадной оценки потоков углерода в пределах РФ, выявлено соотношение $NPP/SR \sim 1$. Это соотношение позволяет по-новому взглянуть на углеродный статус России и скорректировать подход к расчету углеродного баланса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наша концепция динамического равновесия наземных экосистем включает как транзитные потоки углерода, так и циклические процессы. Основная особенность новой концепции состоит в том, что устойчивое функционирование углеродного цикла рассматривается как результат системной адаптации планетарного масштаба, позволяющий поддерживать высокий продукционный потенциал при ограниченных ресурсах. Сток растворенных и взвешенных веществ водотоками с суши в океан и внутренние водоемы контролируется климатической системой. Относительная стабильность климатических параметров связана с инерцией климатической системы и обусловлена большой емкостью природных резервуаров углерода.

В настоящее время реализуется эффективный механизм, отвечающий за устойчивое функционирование углеродного цикла наземных экосистем. Основным условием поддержания динамического равновесия в биосфере является соотношение $NPP/SR \sim 1$. Паритет между годовой первичной продукцией и суммарной эмиссией CO_2 с поверхности почвы сформировался в ходе эволюции, как системная адаптация к низкой концентрации углекислого газа в атмосфере. Тонкая настройка этого механизма (на молекулярном уровне), по-видимому, затрагивает химический состав живой фитомассы. Таким образом, содержание углерода $\sim 45\%$ в сухом органическом веществе является ключевым фактором динамического углеродного баланса биосферы.

Сбалансированность процессов NPP и SR позволяет наземным экосистемам функционировать в относительно автономном режиме и поддерживать высокий продукционный

потенциал независимо от содержания CO₂ в атмосфере. Соотношение P/R~1, предложенное Ю. Одумом для зрелых (равновесных) экосистем (Одум, 1975), относится к биотическим процессам в самой экосистеме (автогенная сукцессия) и не учитывает влияние внешних геохимических факторов, например уровень CO₂ в атмосфере. Таким образом, положительный баланс углерода для территории России за счет «абсолютного стока углерода» в природные экосистемы является ошибкой, как результат неправильной интерпретации экологических принципов.

Признание данной концепции имеет принципиальное значение для правильного понимания углеродного статуса РФ. Накопление углекислого газа в атмосфере происходит в основном в результате антропогенных выбросов, как результат разного рода хозяйственной деятельности человека. В современных условиях природные наземные экосистемы, функционирующие фактически в автономном режиме, оказывают на этот процесс минимальное воздействие. В настоящее время нет достаточно четкого понимания планетарного механизма управления продукционным процессом через содержание углекислого газа в атмосфере. Неизвестно, в каких пределах изменения уровня CO₂ возможен устойчивый режим функционирования биологического круговорота углерода в биосфере. В этом контексте вырисовывается новое научное направление в исследованиях глобальных (планетарных) процессов и явлений.

Предлагаем ввести специальный термин, например «динамическая биосферология», для обозначения нового научного направления, предусматривающего изучение глобальных механизмов динамической устойчивости сухопутных экосистем как компонента климатической системы.

Особое значение данная концепция имеет в связи с недавней инициативой создания так называемых «карбоновых полигонов». Отсутствие единой методологической основы, отечественных приборов и средств наблюдения, четко обозначенной цели создают весьма туманные перспективы для реализации заявленного проекта. Представленная концепция позволила нам получить ответ на вопрос о депонирующем потенциале наземных экосистем России и целесообразности используемых методических подходов. Так, совершенно очевидно, что методы и подходы, основанные на изучении процессов энерго-массопереноса в атмосфере, не позволяют судить о состоянии углеродного цикла наземных экосистем. В лучшем случае такие оценки могут рассматриваться в качестве дополнительной характеристики транзитных потоков, контролируемых климатической системой, и текущего состояния окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базилевич Н.И., Титлянова А.А. *Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 381 с.
2. Заварзин Г.А. Цикл углерода в природных экосистемах России // *Природа*. 1994. № 7. С. 15–18.
3. Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А. и др. *Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России*. М.: Наука, 2007. 315 с.
4. Курбатова А.И., Тарко А.М. Механизм Киотского протокола: математическое моделирование глобального цикла углерода // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2012. № 1. С. 74–78.
5. Лархер В. *Экология растений*. М.: Мир, 1978. 384 с.
6. Наумов А.В. Особенности круговорота углерода в болотных экосистемах // *Вестник ТГУ. Приложение № 7*. 2003. С. 175–181.
7. Наумов А.В. *Круговорот углерода и динамическое равновесие в биосфере* // Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана). Доклады Всероссийской научной конференции (Москва, 18–20 октября 2016 г.). М.: Географический факультет МГУ, 2016. С. 49–52. URL: www.geogr.msu.ru/cafedra/soils/geoland2016/
8. Одум Ю. *Основы экологии*. М.: Мир, 1975. 740 с.
9. Тарко А.М. *Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. Математическое моделирование*. М.: Физматлит, 2005. 232 с.
10. Федоров Б. Г. Карбонная рента (биота России) // *Лесохоз. информ.: электрон. сетевой журн*. 2016. № 3. С. 86–94. [Электронный ресурс]. URL: <http://lhi.vniilm.ru/>
11. Федоров Б.Г. *Российский углеродный баланс*. М.: Изд-во Научный Консультант, 2017. 82 с.
12. Dolman A. J., Shvidenko A., Shepaschenko D., Ciais P., Tchepakova N., Chen T., van der Molen M. K., Marchesini L.B., Maximov T.C., Maksyutov S., Schulze E.D. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion methods // *Biogeosciences*. 2012. No. 9. P. 5323–5340. DOI: [10.5194/bg-9-5323-2012](https://doi.org/10.5194/bg-9-5323-2012)
13. Kurganova I. N., Kudeyarov V.N., Lopes de Gerenyu V.O. Updated estimate of carbon balance on Russian territory // *Tellus B*. 2010. No. 62. P. 497–505.

14. Naumov A. New relationship in carbon cycle // *Low Carbon Economy*. 2012. No. 3a. P. 111–114. URL: <http://www.SciRP.org/journal/lce>. DOI: 10.4236/lce.2012.323015
15. Naumov A.V., Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P. Network environment analysis of a model of carbon flows in a peat bog and fen // *Mires and Peat*. 2020. Vol. 26. Article 24. 18 p. URL: <http://www.mires-and-peat.net/> ISSN 1819-754X International Mire Conservation Group and International Peatland Society. DOI: [10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1790](https://doi.org/10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1790)
16. Nilsson S., Shvidenko A., Stolbovoi V., Gluck M., Jonas M., Obersteiner M. *Full Carbon Account for Russia*. Interim Report, IR000-021. Laxenburg, Austria, 2000. 180 p. <http://webarchive.iiasa.ac.at/Publications/Documents/IR-00-021>. International Institute for Applied Systems Analysis.
17. Raich J.W., Schlesinger W.H. The Global Carbon Dioxide Flux in Soil Respiration and Its Relation to Vegetation and Climate // *Tellus B*. 1992. Vol. 44. No. 2. P. 81–99. DOI: [10.1034/j.1600-0889.1992.t01-1-00001.x](https://doi.org/10.1034/j.1600-0889.1992.t01-1-00001.x)
18. Shvidenko A., Schepaschenko D., Maksyutov S. *Impact of terrestrial ecosystems of Russia on the global carbon cycle from 2003–2008: An attempt of synthesis*. In book: Proceedings of the International Conference on Environmental Observations, Modeling and Information. (ENVIROMIS-2010, 5–11 July 2010 Tomsk, Russia). Tomsk, 2010. P. 48–52.

Поступила в редакцию 12.01.2022

Принята 10.02.2022

Опубликована 17.02.2022

Сведения об авторе:

Наумов Алексей Владимирович – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); anaumov@issa-siberia.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

CARBON STATUS OF RUSSIA AND THE DYNAMIC EQUILIBRIUM OF THE BIOSPHERE

© 2022 A. V. Naumov 

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: anaumov@issa-siberia.ru

The article examines the acute debatable issues of assessing the carbon status of terrestrial ecosystems. The concept of dynamic carbon balance in the biosphere is substantiated. The fallacy of the notion that terrestrial ecosystems of Russia represent an absolute sink of atmospheric carbon dioxide is shown. In the light of the new concept of dynamic equilibrium of the carbon cycle, estimates of the annual primary production of NPP, CO₂ emissions from the soil surface (soil respiration) SR and carbon content in dry organic matter are considered. In modern conditions, the ratio NPP/SR–1 is an important quantitative criterion characterizing the carbon status of natural terrestrial ecosystems. The relative stability of climatic parameters is closely related to the large capacity of natural carbon reservoirs and the mechanism of systemic adaptation of the biological cycle.

Key words: carbon balance; indicators; terrestrial ecosystems; adaptation; criterion; concept

How to cite: Naumov A.V. Carbon status of Russia and the dynamic equilibrium of the biosphere // *The Journal of Soils and Environment*. 2022. 5(2). e166. doi: [10.31251/pos.v5i2.166](https://doi.org/10.31251/pos.v5i2.166) (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Bazilevich N.I., Titlyanova A.A. *Biotic turnover on five continents: element exchange processes in terrestrial ecosystems*. Novosibirsk: Publishing House SB RAS, 2008. 381 p. (in Russian)
2. Zavarzin G.A. Carbon cycle in natural ecosystems of Russia, *Priroda*, 1994, No. 7, p. 15–18. (in Russian)
3. Kudryarov V.N., Zavarzin G.A., Blagodatsky S.A., et al. *Carbon pools and fluxes in terrestrial ecosystems of Russia*. Moscow: Nauka Publ., 2007, 315 p. (in Russian)
4. Kurbatova A.I., Tarko A.M. The mechanism of the Kyoto Protocol: mathematical modeling of the global carbon cycle, *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Ecology and life safety*, 2012, No. 1, p. 74–78. (in Russian)
5. Larcher V. *Plant ecology*. Moscow: Mir Publ., 1978, 384 p. (in Russian)

6. Naumov A.V. Features of the carbon cycle in mire ecosystems, *Bulletin of TSU, Appendix No. 7, 2003, p. 175–181.* (in Russian)
7. Naumov A.V. *The carbon cycle and dynamic equilibrium in the biosphere.* In book: *Geochemistry of landscapes (to the 100th anniversary of A.I. Perelman): Reports of the All-Russian Scientific Conference (Moscow, October 18–20, 2016).* Moscow: Geographical Faculty of Moscow State University, 2016, p. 49–52. URL: www.geogr.msu.ru/cafedra/soils/geoland2016/ (in Russian)
8. Odum Yu. *Fundamentals of ecology.* Moscow: Mir Publ., 1975, 740 p. (in Russian)
9. Tarko A.M. *Anthropogenic changes in global biospheric processes. Mathematical modeling.* Moscow: Fizmatlit Publ., 2005, 232 p. (in Russian)
10. Fedorov B. G. Carbon rent (biota of Russia), *Logging company. inform.: electron. network journal, 2016, No. 3, p. 86–94.* [Electronic resource]. URL: <http://lhi.vniilm.ru/> (in Russian)
11. Fedorov B.G. *Russian carbon balance.* Moscow: Publishing House Scientific Consultant, 2017, 82 p. (in Russian)
12. Dolman A.J., Shvidenko A., Schepaschenko D., Ciais P., Tchepakova N., Chen T., van der Molen M.K., Marchesini L.B., Maximov T.C., Maksyutov S., Schulze E.-D. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion methods, *Biogeosciences, 2012, No. 9, p. 5323–5340.* DOI: [10.5194/bg-9-5323-2012](https://doi.org/10.5194/bg-9-5323-2012)
13. Kurganova I.N., Kudryarov V.N., Lopes de Gerenyu V.O. Updated estimate of carbon balance on Russian territory, *Tellus B., 2010, No. 62, p. 497–505.*
14. Naumov A. New relationship in carbon cycle, *Low Carbon Economy, 2012, No. 3a, p. 111–114.* URL: <http://www.SciRP.org/journal/lce>. DOI: [10.4236/lce.2012.323015](https://doi.org/10.4236/lce.2012.323015)
15. Naumov A.V., Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P. Network environment analysis of a model of carbon flows in a peat bog and fen, *Mires and Peat, 2020, Vol. 26, Article 24, 18 p.* URL: <http://www.mires-and-peat.net/> ISSN 1819-754X International Mire Conservation Group and International Peatland Society. DOI: [10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1790](https://doi.org/10.19189/MaP.2019.OMB.StA.1790)
16. Nilsson S., Shvidenko A., Stolbovoi V., Gluck M., Jonas M., Obersteiner M. *Full Carbon Account for Russia. Interim Report, IR000-021.* Laxenburg, Austria, 2000, 180 p. <http://webarchive.iiasa.ac.at/Publications/Documents/IR-00-021>. International Institute for Applied Systems Analysis.
17. Raich J.W., Schlesinger W.H. The Global Carbon Dioxide Flux in Soil Respiration and Its Relation to Vegetation and Climate, *Tellus B., 1992, Vol. 44, No. 2, p. 81–99.* DOI: [10.1034/j.1600-0889.1992.t01-1-00001.x](https://doi.org/10.1034/j.1600-0889.1992.t01-1-00001.x)
18. Shvidenko A., Schepaschenko D., Maksyutov S. *Impact of terrestrial ecosystems of Russia on the global carbon cycle from 2003–2008: An attempt of synthesis.* In book: *Proceedings of the International Conference on Environmental Observations, Modeling and Information. (ENVIROMIS-2010, 5–11 July 2010 Tomsk, Russia).* Tomsk, 2010, p. 48–52.

*Received 12 January 2022
Accepted 10 February 2022
Published 17 February 2022*

About the author:

Naumov Aleksei Vladimirovich – Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Biogeocenology in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); anaumov@issa-siberia.ru

The author read and approved the final manuscript



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)