

УДК 502.333

Назаренко А. Е.¹

Красноярова Б. А.²

Стоимостная оценка экосистемных услуг по депонированию углерода экосистемами Алтайского края как составляющая перехода к устойчивому развитию

Институт водных и экологических проблем СО РАН,
Российская Федерация, г. Барнаул
e-mail: ¹ harret1992@mail.ru; ² bella@iwep.ru

Аннотация. Проанализирована стоимость эмиссии углерода на существующих биржах торговли углеродом в 2018 г. На основе полученных данных, а также показателей способности различных видов экосистем поглощать атмосферный углерод, предложен алгоритм стоимостной оценки экосистемных услуг депонирования углерода в региональном масштабе. С использованием полученного алгоритма проведена стоимостная оценка депонирования углерода экосистемами Алтайского края. Внедрение подобного механизма может способствовать в будущем снижению недооцененности жизнеобеспечивающих функций экосистем в целях устойчивого развития как регионов, так и государства в целом.

Ключевые слова: экосистемные услуги, устойчивое развитие, регулирующие экосистемные услуги, депонирование углерода, биржи торговли углеродом, стоимостная оценка.

Введение

Регулирующие экосистемные услуги, по определению ЮНЭП, представляют собой выгоды, получаемые от естественного регулирования экосистемных процессов. К таким услугам относят естественное регулирование климата, регулирование качества атмосферного воздуха, регулирование водного стока, естественную очистку воды, защиту почв от эрозии. Регулирующие экосистемные услуги, другими словами, представляют собой выгоды от осуществления экосистемами жизнеобеспечивающих функций.

В мировой практике в рамках концепции устойчивого развития уже несколько десятилетий продолжается работа по внедрению оценок, регулирующих экосистемные услуги и рыночные механизмы природопользования. В частности, плодотворная работа проведена в отношении учета экосистемных услуг по очистке воздуха, а именно – учета депонирования (связывания и накопления) атмосферного углерода в экосистемах. Рыночные механизмы в данном случае, как правило, выражены в создании так называемых «бирж торговли углеродом» (carbon markets), на которых производится торговля квотами на выброс CO₂ в атмосферу промышленными предприятиями.

Важную роль в развитии бирж торговли углеродом играют международные организации, такие как «Региональная инициатива по сокращению выбросов парниковых газов» (RGGI), «Международное партнерство в области борьбы с выбросами» (ICAP) и др. В настоящее время такие биржи функционируют в США,

Канаде, Китае, странах ЕС, Корее и Новой Зеландии. Однако в рыночных оценках природных ресурсов России, в частности лесных ресурсов, они не учитываются, что приводит к возникновению недооцененности природных ресурсов и нарушению баланса в системе «природа–общество».

Материалы и методы

Экосистемы и происходящие в них процессы, как известно, играют важную роль в глобальных круговоротах вещества и энергии, в том числе и в круговороте углерода. Исследованию стока углерода в экосистемах, скорости его изъятия из атмосферы и особенностям накопления посвящены работы отечественных и зарубежных ученых [1–3].

Оценки углеродного бюджета экосистем наиболее активно проводятся с помощью методов математического моделирования и ретроспективного анализа. Так, для оценки углеродного бюджета лесов в региональном масштабе специалистами МГУ и Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН была разработана система региональной оценки бюджета углерода лесов (РОБУЛ), позволяющая проводить оценки с использованием данных государственного лесного реестра [1]. Кроме того, достаточно часто оценки проводятся по канадской модели СВМ-CFS, в которой корневая биомасса лесов и её динамика оцениваются с использованием регрессионных уравнений.

Что касается стоимостных оценок экосистемных услуг по депонированию углерода, заслуживает внимания работа А. В. Неверова, в которой была проведена оценка стоимости депонирования углерода на территории ландшафтного заказника местного значения «Ветеревичский», находящегося в Минской области Республики Беларусь [2], а также работа Е. А. Волковой, в которой проведена оценка стоимости депонирования углерода для территории Московской области [3].

В качестве меры стоимости экосистемных услуг выступает стоимость тонны эмиссии углерода для промышленных предприятий. Торговля выбросами на биржах торговли углеродом осуществляется посредством проведения электронных аукционов, что обеспечивает колебания цен на выбросы в зависимости от спроса и предложения. Ежеквартально ICAP также публикует бюллетень, посвященный обзору основных новостей и тенденций развития торговли выбросами в атмосферу в мире [4].

Средняя стоимость эмиссии 1 тонны CO₂ на существующих рынках торговли выбросами в 2018 г. представлена в таблице (табл. 1).

Как видно из таблицы, стоимость эмиссии на различных биржах значительно разнится, что, прежде всего, вызвано разным уровнем цен на внутренних рынках стран и платежеспособностью их промышленных предприятий. Следует отметить, что такой подход к ценообразованию неоднозначен, так как экосистемные услуги по эмиссии углерода предоставляются в глобальном масштабе. Кроме того, предоставление квот на выбросы в атмосферу по низким ценам в отдельно взятой стране может инициировать рост объемов выбросов в ней, в то время как создание бирж торговли углеродом, напротив, нацелено на сокращение объемов выбросов.

По причине отсутствия подобного механизма в России, основываясь на том, что услуги по регулированию качества воздуха имеют биосферное значение, для оценки стоимости связывания углерода экосистемами был выбран средний

показатель стоимости эмиссии на биржах в 2018 году, который составил USD 8,56, что по курсу валют от 08.06.2018 составляет 534,32 руб./тонну.

Таблица 1.

Уровень цен на существующих биржах торговли углеродом

Система	Стоимость эмиссии тонны CO ₂	Дата отчета	Источник
Калифорния-Квебек	USD 14,61	21.02.2018	Калифорнийский совет по воздушным ресурсам [5]
Пилотные проекты СТВ Китая - Пекин - Чунцин - Гуаньдун - Шанхай - Хубэй - Шенчжень - Тяньцзинь - Фуцзянь	CNY 47,10 (USD 7,50) CNY 24,00 (USD 3,82) CNY 13,58 (USD 2,16) CNY 39,00 (USD 6,21) CNY 15,99 (USD 2,55) CNY 43,12 (USD 6,87) CNY 8,51 (USD 1,36) CNY 19,45 (USD 3,10)	19.04.2018	Европейская энергетическая биржа [6]
СТВ ЕС	EUR 13,99 (USD 17,30)	19.04.2018	Европейская энергетическая биржа [7]
Корея	KRW 22,00 (USD 20,66)	20.04.2018	Корейская биржа [8]
Новая Зеландия	NZD 21,35 (USD 15,58)	20.04.2018	OMF CommTrade Новая Зеландия [9]
Онтарио	CAD 18,44 (USD 14,60)	21.02.2018	Онтарио, Министерство окружающей среды и изменения климата [10]
RGGI	USD 3,79	14.03.2018	RGGI Inc. [10]
Швейцария	CHF 8,00 (USD 8,25)	06.03.2018	Швейцарский реестр торговли выбросами [11]
Среднее по миру		USD 8,56	

Составлено авторами

Вклад различных типов экосистем в депонирование атмосферного углерода был представлен в отчете Status Quo «Оценка экосистемных услуг наземных экосистем России» [12] (табл. 2) на основе данных, полученных научным коллективом из IIASA [13].

Наибольший вклад в депонирование углерода вносят леса, что связано не только с их преобладанием по площади, но и современным состоянием. Современный лесной покров России в значительной степени состоит из вторичных лесов разных стадий восстановления, что и приводит к их высокой активности по депонированию атмосферного углерода. Стоящие на втором месте по площади травяно-кустарниковые экосистемы (в основном это зональные и горные тундры) оказываются слабым источником углерода для атмосферы, что является результатом глобального потепления. Заметный сток углерода представлен болотами в связи с тем, что многие из болотных экосистем еще не завершили свой долгий сукцессионный путь после ближайшего оледенения.

Таблица 2.

**Вклад различных экосистем мира в депонирование
углекислого газа (с упрощениями) ¹⁰**

Тип экосистемы	Площадь, млн га	Баланс углерода, Мт С в год	Объем, т/ га
Леса	820,9	691,9	0,84
Болота	144,6	53,4	0,37
Заброшенные пашни	29,9	46,1	1,54
Луга	24	28,5	1,19
Пашни и пастбища	145,8	25	0,17
Залежи	19	4,2	0,22
Прочие земли, включая воды	101,1	-11,8	-0,12
Травяно-кустарниковые экосистемы	315,7	-15	-0,05
Гари	23,7	-20,8	-0,88
Лесные редины	85,1	-40,3	-0,47

Составлено авторами

В расчете на единицу площади наиболее активно углерод поглощают заброшенные пашни. Масштабное забрасывание пашен в нечерноземной зоне Европейской России происходило на протяжении 1990-х годов. Экосистемы, восстанавливающиеся на месте выбывших из сельскохозяйственного оборота земель, ныне поглощают 46,1 мегатонн углерода в год [14].

В отношении биогеохимических климаторегулирующих услуг наземные экосистемы можно ранжировать по двум параметрам: 1) скорости изъятия углерода из атмосферы и 2) запасам и устойчивости депонированного, выведенного из биогеохимического круговорота углерода [12]. В зависимости от приоритетов значение экосистем меняется. Так, если считать наиболее важным быстрое поглощение углерода, то на первый план выходят молодые леса, особенно те, которые восстанавливаются на месте заброшенных пахотных земель. Если же признать более значимым долговременное накопление углерода, то приоритетным местом для этого оказываются луга и торфяные болота, обладающие максимальными запасами углерода в расчете на единицу площади.

Несмотря на то, что круговорот углерода в экосистемах имеет биосферное значение, не теряет свою важность и региональный учет ценности очистки воздуха экосистемами. Прежде всего это связано с особенностями организации природопользования, структура которого чаще всего основана на внутренних производственных связях, осуществляемых в рамках региональных природно-хозяйственных систем. Таким образом, внедрение рыночного механизма, который учитывал бы ценность естественного регулирования качества воздуха, целесообразно, опираясь на объективные факторы и существующий мировой опыт, осуществлять именно в региональном масштабе с учетом производственных связей. В качестве первых шагов разработки такого механизма мог бы выступать механизм оценки депонирования углерода экосистемами региона.

¹⁰Положительные величины означают сток углерода из атмосферы, отрицательные – его источник в атмосфере

Результаты и обсуждение

На примере Алтайского края был произведен расчет стоимостного значения данных экосистемных услуг. Для оценки использовались данные о площади, занимаемой различными типами экосистем в каждом муниципальном районе, данные о среднем мировой стоимости тонны выброса углерода в 2018 году (табл. 1), а также данные об относительном вкладе различных типов экосистем в углеродный баланс (табл. 2). Результаты оценки представлены на рисунке (рис. 1).

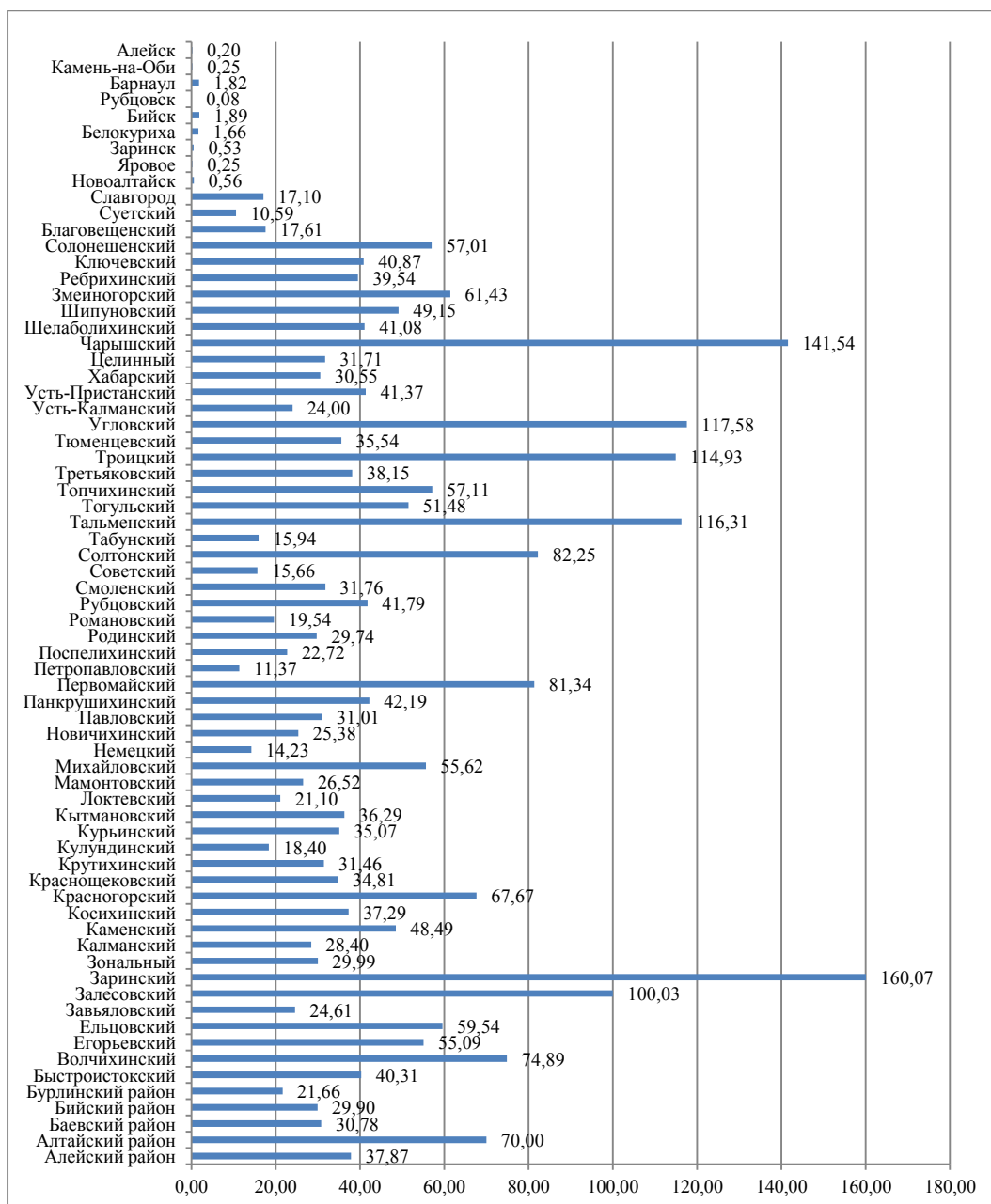


Рис. 1. Стоимость депонирования углерода экосистемами муниципальных районов Алтайского края, (млн руб.). Составлено авторами

Общая стоимость связывания углерода экосистемами края составила 2782,7 млн руб., которые в настоящее время не учитываются в рыночных оценках, что свидетельствует о широких масштабах недооцененности экосистемной значимости природных ресурсов края. Для того чтобы избежать влияния на полученные значения стоимости площадей муниципальных районов, результаты оценки были выражены в удельных показателях (руб./ га) (рис. 2).

Наибольшая стоимость депонирования углерода экосистемами была, закономерно, отмечена в районах с наибольшей лесистостью – Заринском, Залесовском, Тальменском, Троицком, Солтонском, Ельцовском. Вклад лесных экосистем в формирование стоимости депонирования углерода составил 80–90 %. Значительный вклад в формирование стоимости связывания углерода экосистемами вносят и пашни – их вклад составляет 6–14 %.

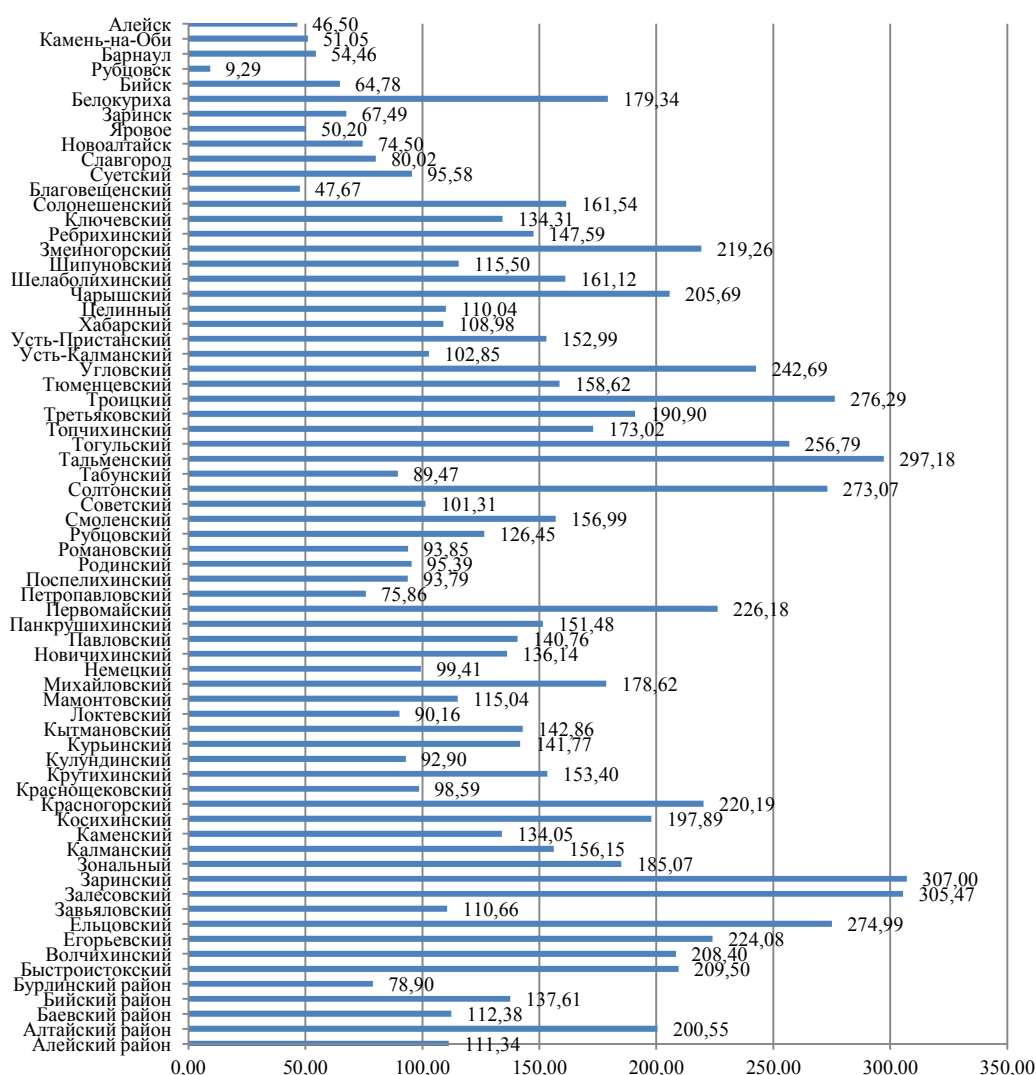


Рис. 2. Удельная стоимость депонирования углерода экосистемами муниципальных районов Алтайского края (руб./га). Составлено авторами

Подобные стоимостные оценки поглощения углерода проводились для других территорий для разных пространственных уровней в рамках комплексных оценок экосистемных услуг. При этом стоимостные оценки депонирования углерода наиболее подробно проводились для лесных экосистем. Проведем сравнение полученных данных с данными оценок, проведенных другими исследователями (табл. 3).

Таблица 3.

**Сопоставление данных стоимостных оценок депонирования углерода
лесными экосистемами**

Территория	Показатель поглощения CO ₂ лесными экосистемами, тонн/га	Стоимость поглощения CO ₂ , долл /га /год	Источник данных
Ландшафтный заказник местного значения «Ветеревичский» (Минская область, Республика Беларусь)	0,705	50,6	Неверов А. В., Белорусский государственный технический университет (2013 год) [2]
Московская область	0,893	8,93	Волкова Е. А., Центр экологических исследований АН РБ (2006 год) [3]
Алтайский край	0,84	7,19	Назаренко А. Е., ИВЭП СО РАН (2018 год)

Составлено авторами

Данные результатов стоимостных оценок, получаемые разными исследователями, значительно разнятся, что вызвано следующими факторами.

1) Использование разрозненных данных о показателях поглощения углерода лесными экосистемами. Само по себе наличие таких разрозненных данных вызвано разными условиями экспериментов по определению показателя поглощения CO₂ лесными экосистемами, а также множеством подобных экспериментов, посвященных локальным оценкам поглощения углерода лесами. Для сопоставления данных об используемом показателе поглощения CO₂ был рассчитан коэффициент вариации (табл. 4).

Коэффициент вариации равен 9,74 %, что говорит о слабой вариативности ряда и, в свою очередь, подтверждает сопоставимость данных.

2) Использование разрозненных данных о стоимости тонны эмиссии CO₂ на мировых рынках. Чаще всего подобные оценки носят приблизительный характер, что приводит к использованию «гипотетических» цен, без проведения подробного анализа цен на мировых биржах. Использование конкретных данных о стоимости эмиссии с использованием квартальных отчетов бирж торговли выбросами углерода (carbon markets), на наш взгляд, позволило бы повысить качество проводимых стоимостных оценок.

Таблица 4.

Расчет коэффициента вариации

Показатели	Значения ряда	$(x - x_{cp})$	$(x - x_{cp})^2$
	0,705	-0,1077	0,0116
	0,893	0,0803	0,0065
	0,84	0,0273	0,0007
Среднее арифметическое значение (x_{cp})	0,81		
Средний квадрат разности $((x - x_{cp})^2 \div n)$	0,0062		
Среднее квадратическое отклонение $\sqrt{(x - x_{cp})^2 \div n}$	0,08		
Коэффициент вариации $\frac{\sqrt{(x - x_{cp})^2 \div n}}{(x_{cp})} \times 100$	9,74		

Рассчитано авторами

Выводы

По результатам проведенного исследования получены следующие выводы:

1) наиболее весомый вклад в осуществление депонирования углерода вносят лесные экосистемы и пашни, поэтому внедрение рыночного механизма учета экосистемной услуги по депонированию углерода в региональном масштабе должно базироваться на учете существующей структуры землепользования. Предложенный авторами алгоритм позволяет проводить оценку стоимости данной регулирующей экосистемной услуги на территории любого региона;

2) планирование трансформации структуры землепользования в связи с высокой ценностью данных жизнеобеспечивающих функций следует проводить с учетом стоимости связывания углерода экосистемами, а непроведение такого учета может привести к значительным потерям как для экономики региона, так и для качества предоставления жизнеобеспечивающих функций.

Литература

1. Замолодчиков Д. Г., Грабовский В. И., Коровин Г. Н. Управление бюджетом углерода лесов Дальнего Востока России: прогнозный анализ по модели СВМ CFS // Лесная таксация и лесоустройство. 2009. № 1 (41). С. 98–103.
2. Неверов А. В., Воропаева О. А. Стоимостная оценка экосистемных услуг и биологического разнообразия // Труды БГТУ, 2013. № 7. С. 95–100.
3. Волкова Е. А. Экономическая оценка экосистемных услуг и перспективы развития рекреационной деятельности в ландшафтном природном парке «Зилим» // Инновационный потенциал естественных наук (сборник трудов конференции). Пермь, 2006. С. 134–139.
4. Ежеквартальный бюллетень ICAP – Новости об основных тенденциях торговли квотами на выбросы парниковых газов [Электронный ресурс]. Режим доступа:

- <https://icapcarbonaction.com/ru/newsletter-archive/mailling/view/listid-/mailingid-96/listtype-1>
5. California Cap-and-Trade Program, Ontario Cap-and-Trade Program, and Québec Cap-and-Trade System February 2018 Joint Auction #14 Summary Results Report [Электронный ресурс]. URL: https://www.arb.ca.gov/cc/capandtrade/auction/feb-2018/summary_results_report.pdf
 6. International Carbon Action Partnership (ICAP) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://icapcarbonaction.com/ru/newsletter-archive/mailling/view/listid-/mailingid-96/listtype-1>
 7. European Emission Allowances Auction (EUA) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets/auction-market/european-emission-allowances-auction#!/2018/04/19>
 8. Global KRX [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://global.krx.co.kr/contents/GLB/05/0506/0506030101/GLB0506030101.jsp>
 9. CommTrade Carbon [Электронный ресурс]. URL: <https://www.commtrade.co.nz/>
 10. RCGI Inc. Market monitor report for auction 39 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.rggi.org/sites/default/files/Uploads/Auction-Materials/39/Auction_39_Market_Monitor_Report.pdf
 11. Emission trading registry [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.emissionsregistry.admin.ch/crweb/public/auction/list.do?org.apache.struts.taglib.html.TOKEN=5afb14644c67317d4a7fb28bb3e1d3aa>
 12. Экосистемные услуги наземных экосистем России: первые шаги. Status Quo Report. Москва: Центр охраны дикой природы, 2013. 45 с.
 13. Dolman A. J., Shvidenko A., Schepaschenko D., Ciais P., Tchepakova N., Chen T., van der Molen M. K., Belelli Marchesini L., Maximov T. C., Maksyutov S., Schulze E. D. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion method // Biogeosciences. 2012. V. 9. P. 5323–5340.
 14. Kurganova I. N., Lopes de Gerenyu V. O., Six J., Kuzyakov Y. Carbon cost of collective farming collapse in Russia // Global Change Biology. 2014. V. 20. P. 938–947.

Nazarenko A. E.¹
Krasnoyarova B. A.²

Cost evaluation of ecosystem services for carbon sequestration by Altai krai ecosystems as a component of transition to sustainable development

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS,
Russian Federation, Barnaul,
e-mail: ¹ harret1992@mail.ru; ² bella@iwep.ru

Abstract. *The paper presents an algorithm for the evaluation of ecosystem services for carbon sequestration. An estimation of carbon sequestration by ecosystems of Altai Krai was performed based on the proposed algorithm. The main indicators for calculation of the carbon sequestration cost are the cost of emission of a carbon ton fixed at major markets, and the ability of various ecosystems to atmospheric carbon*

absorption. The proposed algorithm is universal and quite simple for its application in regional estimates.

At carbon markets, the cost of carbon emission varies significantly due to different prices fixed by domestic markets and solvency of industrial enterprises. It should be noted that such an approach to pricing is ambiguous, as ecosystem services for carbon sequestration are provided globally. In contrast to the establishment of carbon trading exchanges aimed at emissions reduction, low-prices carbon quotas established by a country can increase its emission volumes.

To estimate the cost of carbon sequestration by ecosystems, we used the average emission price fixed by the exchange trade in 2018 (USD 8.56) because of the absence of such a mechanism in Russia. The contribution of different types of ecosystems to atmospheric carbon absorption was calculated due to the data obtained by the scientific team from IIASA.

Forests are major carbon absorbers because of their huge area and current state. Modern forests of Russia largely consists of secondary forests (which are at different recovery stages) that makes them active in atmospheric carbon sequestration.

Per unit area, the abandoned arable lands are the most active carbon absorbers. In 1990s, a large-scale abandonment of lands occurred in the non-chernozem zone of European Russia. Currently, the recovering ecosystems absorb 46.1 megatons of carbon per year.

The total cost of carbon sequestration by Altai Krai ecosystems made up 2782.7 million rubles. This figure is off-the-books in market assessments that is evidence of a great underestimation of the ecosystem significance of the region natural resources.

The highest cost of carbon sequestration by the ecosystems was, naturally, recorded in the areas with the richest forest cover, i.e. Zarinsky, Zalesovsky, Talmensky, Troitsky, Soltonsky and Eltsovsky regions. The contribution of forest ecosystems to the cost formation amounted to 80-90%; for abandoned arable lands it made up 6-14%.

The research suggests that forest ecosystems and abandoned arable lands contribute most to carbon sequestration. Therefore, the introduction of a market mechanism for accounting the ecosystem service for carbon sequestration at the regional scale should be based on the existing land use structure. The proposed algorithm can be applied to the ecosystem service cost in any region. Because of costly ecosystem services, carbon sequestration should be taken into consideration when planning the transformation of the land use structure, otherwise it can lead to significant losses in the regional economy and deterioration of the environment quality.

References

1. Zamolodchikov D. G., Grabovskij V. I., Korovin G. N. Upravlenie byudzhetom ugleroda lesov Dal'nego Vostoka Rossii: prognoznyj analiz po modeli CBM CFS // Lesnaya taksaciya i lesoustrojstvo. 2009. № 1 (41). P. 98–103 (in Russian).
2. Neverov A. V., Voropaeva O. A. Stoimostnaya ocenka ehkosistemnyh uslug i biologicheskogo raznoobraziya // Trudy BGTU, 2013. № 7. P. 95-100 (in Russian).
3. Volkova E. A. Ekonomicheskaya ocenka ehkosistemnyh uslug i perspektivy razvitiya rekreacionnoj deyatel'nosti v landshaftnom prirodnom parke «Zilim» // Innovacionnyj potencial estestvennyh nauk (sbornik trudov konferencii). Perm', 2006. SP 134-139 (in Russian).

4. Ezhekvartal'nyj byulleten' ICAP – Novosti ob osnovnyh tendenciayah trgovli kvotami na vybrosy parnikovyh gazov [Elektronnyj resurs]. URL: <https://icapcarbonaction.com/ru/newsletter-archive/mailling/view/listid-/mailingid-96/listtype-1> (in Russian).
5. California Cap-and-Trade Program, Ontario Cap-and-Trade Program, and Québec Cap-and-Trade System February 2018 Joint Auction #14 Summary Results Report [Elektronnyj resurs]. URL: https://www.arb.ca.gov/cc/capandtrade/auction/feb-2018/summary_results_report.pdf (in English).
6. International Carbon Action Partnership (ICAP) [Elektronnyj resurs]. URL: <https://icapcarbonaction.com/ru/newsletter-archive/mailling/view/listid-/mailingid-96/listtype-1> (in English).
7. European Emission Allowances Auction (EUA) [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.eex.com/en/market-data/environmental-markets/auction-market/european-emission-allowances-auction#!/2018/04/19> (in English).
8. Global KRX. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://global.krx.co.kr/contents/GLB/05/0506/0506030101/GLB0506030101.jsp> (in English).
9. CommTrade Carbon [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.commtrade.co.nz/> (in English).
10. RCGI Inc. Market monitor report for auction 39 [Elektronnyj resurs] URL: https://www.rggi.org/sites/default/files/Uploads/Auction-Materials/39/Auction_39_Market_Monitor_Report.pdf (in English).
11. Emission trading registry [Elektronnyj resurs]. URL: <https://www.emissionsregistry.admin.ch/crweb/public/auction/list.do?org.apache.struts.taglib.html.TOKEN=5afb14644c67317d4a7fb28bb3e1d3aa> (in English).
12. Ekosistemnye uslugi nazemnyh ehkosistem Rossii: pervye shagi. Status Quo Report. Moskva: Centr ohrany dikoj prirody, 2013. 45 P. (in Russian).
13. Dolman A. J., Shvidenko A., Schepaschenko D., Ciais P., Tchepakova N., Chen T., van der Molen M. K., Beletti Marchesini L., Maximov T. C., Maksyutov S., Schulze E. D. An estimate of the terrestrial carbon budget of Russia using inventory-based, eddy covariance and inversion method // Biogeosciences. 2012. V. 9. P. 5323–5340 (in English).
14. Kurganova I. N., Lopes de Gerenyu V. O., Six J., Kuzyakov Y. Carbon cost of collective farming collapse in Russia // Global Change Biology. 2014. V. 20. P. 938–947 (in English).

Поступила в редакцию 02.07.2018 г.