

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ, ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ

УДК 004.942:550.47

DOI: 10.17072/2079-7877-2019-2-5-12

**МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЛАНСА CO₂ В ПОЛУПУСТЫННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ
УЗБЕКИСТАНА*****Ольга Эдуардовна Суховеева**ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3620-9661>e-mail: olgasukhoveeva@gmail.com*Институт географии РАН, Москва***Мухтор Гаффарович Насыров**e-mail: muhtorgn@gmail.com*Самаркандский государственный университет, Самарканд, Республика Узбекистан*

Исследование посвящено применению модельного подхода для оценки баланса диоксида углерода (CO₂) в пастбищных экосистемах. Его среднее многолетнее значение на полупустынных полынных пастбищах Узбекистана в опыте Самаркандского университета составляет $0,121 \pm 0,148$ г С м⁻² ч⁻¹, в связи с чем их следует признать нетто-источниками поступления CO₂ в атмосферу. На этом примере впервые на территории Средней Азии применена имитационная биогеохимическая модель DNDC (DeNitrification-DeComposition) и доказана ее способность воспроизводить чистый экосистемный обмен, в том числе его основные потоки – фотосинтез и дыхание экосистемы. Эффективность моделирования оценена на основе пяти критериев. Между измеренными и смоделированными значениями отмечена средняя прямая корреляция. Коэффициент Нэша-Сатклиффа имел положительное значение, что доказывало адекватность воспроизведения моделью баланса CO₂. Относительная ошибка моделирования не превышала 18%. По результатам дисперсионного анализа приняты нулевые гипотезы о равенстве не только средних полевых и смоделированных значений, но и их дисперсий. Графический анализ показал, что модель корректно отражает годовую динамику чистого экосистемного обмена. В дальнейшем DNDC может применяться для оценки потоков парниковых газов и разработки стратегии снижения их эмиссии из пастбищных экосистем.

Ключевые слова: модель DNDC, полынные пастбища, Средняя Азия, чистый экосистемный обмен, эффективность моделирования.

MODELLING CO₂ BALANCE IN SEMIDESERTS ECOSYSTEMS OF UZBEKISTAN**Olga E. Sukhoveeva**ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3620-9661>e-mail: olgasukhoveeva@gmail.com*Institute of Geography RAS, Moscow***M.G. Nasirov**e-mail: muhtorgn@gmail.com*Samarkand State University, Republic of Uzbekistan, Samarkand*

This research describes application of the model approach for the evaluation of CO₂ balance in pasture ecosystems. In the field experiment of Samarkand State University, Uzbekistan, the average

© Суховеева О.Э., Насыров М.Г., 2019

*Работа выполнена в рамках темы ГЗ № 0148-2018-0006 (перерегистр. № 0148-2019-0009) и программы Президиума РАН № 51 (№ 0148-2018-0036).

annual CO₂ balance in semidesert wormwood pastures is equal to 0.121 ± 0.148 g C m⁻² h⁻¹, therefore they appear to be the source of CO₂ for the atmosphere. By this example there was proved the ability of the simulation biogeochemical model DNDC (DeNitrification-DeComposition) to reproduce net ecosystem exchange, including the main fluxes – photosynthesis and ecosystem respiration. In this research, the model was used to evaluate the CO₂ balance in an ecosystem in the Central Asia territory for the first time. The modeling efficiency was estimated on the basis of 5 criteria. There were noted medium correlations between the measured and modeled values. The Nash-Sutcliffe coefficient was positive, which means that the model adequately reconstitutes the CO₂ balance. The relative error was less than 20%. As the results of ANOVA showed, average values of the measured balance and the modeled one were similar, as well as their dispersions. According to graphical analysis, the model represents dynamics of the net ecosystem exchange correctly and it may be used for evaluating greenhouse gases fluxes and developing the strategy for mitigation of their emission in pasture ecosystems.

Key words: model DNDC, semideserts wormwood pastures, Central Asia, net ecosystem exchange, modelling efficiency.

Введение

Баланс диоксида углерода (CO₂) в экосистеме характеризуется через чистый экосистемный обмен (Net Ecosystem Exchange) – обмен CO₂ между экосистемой и атмосферой, т.е. соотношение фотосинтеза и дыхания экосистемы, которое состоит из наземного и корневого дыхания растений и дыхания микроорганизмов [7]. Если значения дыхания экосистемы больше фотосинтеза, она выступает как источник CO₂ для атмосферы, если меньше – как сток. Поскольку CO₂ является одним из ключевых парниковых газов, рост концентрации которых в атмосфере вызывает современные изменения климата, определение направления его потоков приобретает особую важность.

Интенсивность одного из составляющих баланса CO₂ – фотосинтеза – зависит от вегетативной массы растений, которая в пастбищных экосистемах формирует их продуктивность [9]. Таким образом, повышение количества растительной биомассы будет способствовать не только усилению кормовой базы животноводства, но и поглощению CO₂ из атмосферы.

Рассчитать оптимальные сценарии повышения качества пастбищ можно с помощью моделирования, которое находит все более широкое применение для инвентаризации потоков парниковых газов и анализа отклика растительности на современные климатические изменения [14]. Апробация биогеохимических моделей на территории Средней Азии в дальнейшем будет способствовать расширению их применения для оценки и разработки оптимальной стратегии управления потоками парниковых газов в результате сельскохозяйственного землепользования и рекомендаций по снижению эмиссии.

Цель исследования состояла в том, чтобы применить модельный подход для оценки баланса CO₂ на полупустынных полынных пастбищах Узбекистана.

Материалы и методы исследования

Опыт СамГУ. Для проведения полевых измерений был выбран участок полупустынного пастбища, расположенный в учебном хозяйстве Самаркандского государственного университета (СамГУ) близ г. Карнаб (Qarnob) в Пахтачийском р-не Самаркандской обл. в западной части Узбекистана. Географические координаты опыта 39°40' с.ш. 65°46' в.д., высота над уровнем моря 460 м, рельеф равнинный.

Почвенный покров участка представлен тяжелосуглинистыми гипсоносными серо-бурыми почвами (Calcic Gypsisols), сводная характеристика которых представлена в табл. 1. Растительный покров состоит преимущественно из полыни раскидистой (*Artemisia diffusa*) и эфемеров. Урожайность сухой массы полыни составляет 2 ц/га, при содержании безазотистых веществ 41,7% [9].

Таблица 1

Некоторые характеристики серо-бурых почв

Показатель	Значение	Ссылка
Плотность	1,22–1,27 г/см ³	[1]
pH	8,5–9,5	[2]
Гумус	0,7–1,0%	
Полевая влагоемкость	18,7% (15–22%)	[6]
Влажность устойчивого завядания	10,2% (7,4–12,8%)	
Водопроницаемость	18 мм/ч	
Пористость	50%	
Содержание азота	9,4–16,3 мг N/кг почвы, содержание аммиачного азота в три раза выше, чем нитратной формы	
Содержание глины	44,2%	

В рамках полевого этапа исследования в 1998–2001 гг. с марта по декабрь практически ежедневно портативным инфракрасным газоанализатором (Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA) измерялась концентрация CO₂ на высотах 1,0 и 2,0 м, определялась разница между ними и переводилась из ppm в г С м⁻² ч⁻¹. Всего были получены результаты измерений за 583 дня.

Информация о температурах воздуха и количестве осадков для инициации моделирования была взята из базы ВНИИ ГМИ – МЦД по метеостанции г. Самарканд.

Модель DNDC. Для проведения исследования была выбрана модель DNDC (DeNitrification-DeComposition) – процессно-ориентированная имитационная модель, созданная для оценки динамики основных компонентов биогеохимических циклов углерода и азота, в том числе биогенных парниковых газов, в почвах сельскохозяйственного назначения [17].

Она рекомендуется РКИК ООН [13, 19] и ФАО [21] для оценки эмиссии парниковых газов от сельского хозяйства. Модель была апробирована для разных вариантов землепользования в странах Северной Америки, Восточной и Юго-Восточной Азии [11], применялась в нескольких крупных международных проектах [14], а также используется на национальном уровне в Великобритании и КНР.

В последние годы DNDC находит применение для оценки баланса CO₂ в экосистемах [12]. Но до настоящего времени эта модель не использовалась на территории Средней Азии и, в частности Узбекистана.

Оценка эффективности моделирования. Достоверность получаемых на основе DNDC результатов определялась с помощью набора статистических критериев:

1) относительная ошибка δ – изменяется от 0 до 1 (или от 0 до 100%), и чем ближе ее значение к нулю, тем точнее расчет;

2) коэффициент эффективности моделирования Нэша-Сатклиффа NS – значения лежат в диапазоне $(-\infty; 1]$; если $NS < 0$, это говорит о несостоятельности модели и, соответственно, чем он ближе к 1, тем точнее воспроизводится реальный процесс [18];

3) коэффициент корреляции Пирсона r_p – существенной признавалась корреляция между опытными и смоделированными значениями $r_p > 0,20$ при уровне значимости $P < 0,001$;

4) однофакторный дисперсионный анализ – проверялась нулевая гипотеза о том, что средние измеренные и средние смоделированные значения потоков CO₂ равны между собой;

5) двухвыборочный F -тест дисперсий – проверялась нулевая гипотеза о равенстве дисперсий двух выборок независимо от способа их получения – с помощью измерений или через моделирование.

В двух последних случаях, если $F < F_{крит}$ и $P > 0,05$, принималась нулевая гипотеза; если $F > F_{крит}$ и $P < 0,05$, нулевая гипотеза отвергалась и принималась альтернативная гипотеза о неравенстве средних или дисперсий и зависимости их значений от методики измерения и моделирования [4].

Для расчетов использовались программы IBM SPSS Statistics 20 и Microsoft Excel 2013. Для проверки эффективности моделирования также применялся графический метод, который позволял зрительно сопоставить соотношение измеренных и смоделированных значений во времени.

Результаты и их обсуждение

Согласно данным, полученным с помощью мини-метеорологической установки, среднее многолетнее значение баланса CO_2 полынного пастбища составляет $0,121 \pm 0,148 \text{ г С м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$, что говорит о том, что полупустыни Узбекистана являются нетто-источниками поступления CO_2 в атмосферу. Поскольку в течение суток содержание CO_2 в приземном слое атмосферы изменяется в зависимости от соотношения режимов дыхания и фотосинтеза [8], в данном случае можно предположить, что поток, связанный с валовым дыханием и представленный преимущественно дыханием микроорганизмов, превышает низкую валовую продукцию растений. Свою роль здесь также играет интенсивность использования пастбищ: умеренный выпас уменьшает эмиссию CO_2 , повышая потенциал секвестрации, тогда как интенсивный – способствует высвобождению CO_2 [16].

Влага, как лимитирующий фактор в аридных районах, увеличивает интенсивность фотосинтеза, вследствие чего соотношение поглощения и эмиссии CO_2 меняется в сторону депонирования, т.е. фиксации CO_2 с последующим образованием органического вещества растениями. Таким образом, после выпадения осадков регион кратковременно становится стоком углерода. Вероятнее всего, это происходит в результате активизации процесса фотосинтеза, хотя возможно, что уменьшается дыхание почвы при сохранении того же уровня фотосинтеза или снижаются оба потока, но дыхание ослабляется более интенсивно. Аналогичные выводы о влиянии осадков на изменение баланса CO_2 с эмиссии на поглощение получены для степей Монголии [15]. В российских исследованиях подтверждается, что в аридных условиях отмечаются прямые зависимости биологических показателей экосистем от количества осадков и обратные – от амплитуды температур [5].

Модель DNDC рассчитывает с суточным шагом множество составляющих биогеохимического цикла С, в том числе дыхание экосистемы и фотосинтез, по разности которых определяется чистый экосистемный обмен. Это позволяет при оценке баланса углерода избежать ошибки, состоящей в двойном учете выделившего CO_2 – при дыхании корней растений и как компонента чистого экосистемного обмена, часто возникающей при совокупных оценках эмиссии CO_2 [3].

Результаты анализа эффективности моделирования (табл. 2) позволяют сделать вывод о том, что DNDC дает возможность качественно воспроизвести баланс CO_2 . Так, относительная ошибка моделирования не превышает 18%, и между измеренными и смоделированными значениями отмечается значимая средняя прямая корреляция. Положительное значение коэффициента Нэша-Сатклиффа доказывает адекватность отражения моделью чистого экосистемного обмена. По результатам однофакторного дисперсионного анализа и двухвыборочного теста дисперсий принимаются нулевые гипотезы о равенстве средних полевых и расчетных значений, а также их дисперсий.

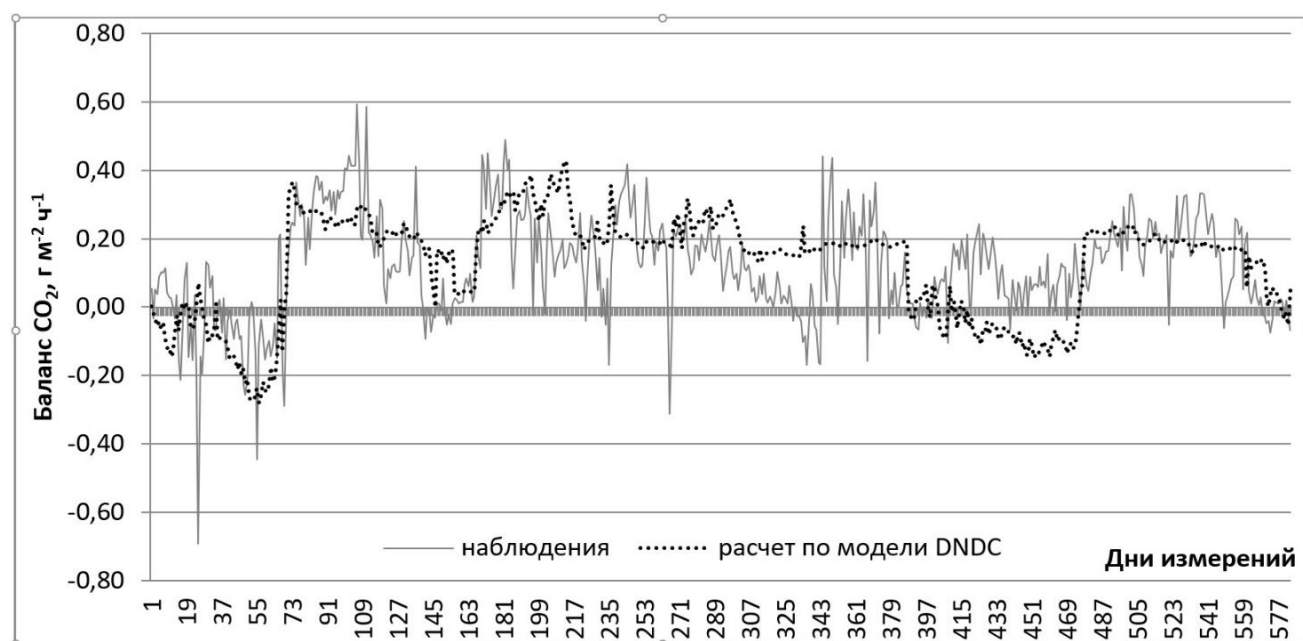
При графическом анализе можно заметить, что модель корректно отражает годовую динамику баланса CO_2 полупустынного пастбища, а, следовательно, и интенсивность фотосинтеза, дыхания растений и микроорганизмов (рисунок).

Полученные данные хорошо согласуются с оценками зарубежных исследователей, доказавших возможность успешного использования этой модели для оценки баланса CO_2 на пастбищах северо-западной Европы [10] и Монголии [16]. Кроме того, рассмотренный пример подтверждает практическую применимость имитационных моделей для анализа влияния внешних факторов на интенсивность фотосинтеза, поскольку эффект такого воздействия сложно оценить количественно, в том числе вследствие сложности создания полевых опытов [20].

Таблица 2

Оценка эффективности моделирования баланса CO₂ с помощью DNDC в опыте СамГУ

Показатель	Обозначение	Значения
Средняя и стандартное отклонение, г С м ⁻² ч ⁻¹	Опыт	0,121 ± 0,148
	Модель	0,128 ± 0,153
Относительная ошибка	δ	17,4%
Коэффициент эффективности	<i>NS</i>	0,108
Коэффициент корреляции	<i>r_p</i>	0,554
	<i>P</i>	< 0,001
Однофакторный дисперсионный анализ	<i>F</i>	0,477
	<i>F_{крит}</i>	3,849
	<i>P</i>	0,490
Двухвыборочный F-тест для дисперсий	<i>F</i>	1,001
	<i>F_{крит}</i>	1,146
	<i>P</i>	0,493

Измеренный и рассчитанный на основе модели DNDC баланс CO₂ в опыте СамГУ

Выводы

Полупустыни Узбекистана выступают нетто-источником поступления CO₂ в атмосферу. Среднее многолетнее значение баланса CO₂ в экосистеме полынного пастбища составляет 0,121 ± 0,148 г С м⁻² ч⁻¹.

По результатам исследования доказана пригодность модели DNDC для оценки чистого экосистемного обмена полупустынных пастбищ Средней Азии. Правильность результатов подтверждается совокупностью значимых статистических критериев, а также совпадением временной изменчивости измеренных и смоделированных величин.

Библиографический список

1. Бабаев М.П., Рамазанова Ф.М. Воспроизводство плодородия орошаемых серо-бурых почв аридной зоны Азербайджана // Живые и биокосные системы. 2017. № 21. URL: <http://www.jbks.ru/assets/files/content/2017/issue21/article-4.pdf> (дата обращения: 20.10.2018).

2. Белобров В.П., Замотаев И.В., Овечкин С.В. География почв с основами почвоведения. М.: Академия, 2004. 352 с.
3. Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестник Российской академии наук. 2006. Т. 76. №1. С. 14–29.
4. Камышова Г.Н., Корсак В.В., Фалькович А.С., Холуденева О.Ю. Математическое моделирование в компонентах природы. Саратов: Изд-во СГАУ, 2012. 161 с.
5. Козунь Ю.С. Влияние климата на биологические свойства почв юга России: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Ростов н/Д.: Изд-во Южного федерального ун-та, 2014. 153 с.
6. Мамедов Д.Ш. Экологическая модель плодородия под маслиной на Апшеронском полуострове // Успехи современной науки. 2015. №2. С. 88–93.
7. Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах / А.М. Алферов, В.Г. Блинов, М.Л. Гитарский, В.А. Грабар и др. Саратов: Амирит, 2017. 279 с.
8. Степанов А.Л. Микробная трансформация парниковых газов в почвах. М.: ГЕОС, 2011. 192 с.
9. Янов В.И. Урожайность и питательная ценность видов полыни, перспективы их практического использования в условиях северо-западной части Прикаспия // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования: мат. VIII Межд. симпозиума. М.: РУДН, 2009. Т. 3. С. 317–325.
10. Abdalla M., Saunders M., Hastings A., Williams M., Smith P., Osborne B., Lanigan G., Jones M.B. Simulating the impacts of land use in Northwest Europe on Net Ecosystem Exchange (NEE): The role of arable ecosystems, grasslands and forest plantations in climate change mitigation // Science of the Total Environment. 2013. No. 465. P. 325–336.
11. Bolan N.S., Saggarr S., Luo J., Bhandral R., Singh J. Gaseous emissions of nitrogen from grazed pastures: processes, measurements and modeling, environmental implications, and mitigation // Advances in agronomy. Eds. Sparks D.L. San Diego USA: Elsevier, 2004. V. 84. P. 38–120.
12. Deng J., Li C., Frohling S., Zhang Y., Bäckstrand K., Crill P. Assessing effects of permafrost thaw on C fluxes based on multiyear modeling across a permafrost thaw gradient at Stordalen, Sweden // Biogeosciences. 2014. No. 11. P. 4753–4770.
13. Estimation of emissions from agriculture. United Nations framework convention on climate change. FCCC/SBSTA/2004/INF.4. GE.04–61454. Bonn: UNFCCC, 28 May 2004. 20 p. URL: <http://unfccc.int/resource/docs/2004/sbsta/inf04.pdf> (дата обращения: 20.10. 2018).
14. Giltrap D.L., Li C., Saggarr S. DNDC: a process-based model of greenhouse gas fluxes from agricultural soils // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2010. V. 136. No. 3-4. P. 292–300.
15. Haoa Y., Kanga X., Wua X., Cuia X., Liua W., Zhanga H., Lia Y., Wang Y., Xuc Z., Zhaoda H. Is frequency or amount of precipitation more important in controlling CO₂ fluxes in the 30-year-old fenced and the moderately grazed temperate steppe? // Agriculture, Ecosystems and Environment. 2013. No. 171. P. 63–71.
16. Kang X., Hao Y., Cui X., Chen H., Li C., Rui Y., Tian J., Kardol P., Zhong L., Wang J., Wang Y. Effects of grazing on CO₂ balance in a semiarid steppe: field observations and modeling // Journal of Soils and Sediments. 2013. No. 13. P. 1012–1023.
17. Li C., Frohling S., Frohling T.A. A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model structure and sensitivity // Journal of geophysical research. 1992. V. 97. No. D9. P. 9759–9776.
18. Nash J.E., Sutcliffe J.V. River flow forecasting through conceptual models. Part I. A discussion of principles // Journal of hydrology. 1970. V. 10. No. 3. P. 282–290.
19. Report of the thirty-eighth meeting of the small-scale working group. Bonn, Germany: CDM SSC WG, 2012. 8 p.
20. Sutton W.R., Srivastava J.P., Neumann J.E., Droogers P., Boehlert B.B. Reducing the

vulnerability of Uzbekistan's agricultural systems to climate change. Impact assessment and adaptation options. Washington: The World Bank, 2013. 124 p.

21. *User friendly manual of the EX-Ante Carbon-balance Tool (EX-ACT)*. Estimating and targeting greenhouse gas mitigation in agriculture, livestock, forestry and land use projects. Rome: FAO, 2013. 141 p.

References

1. Babaev, M.P. and Ramazanova, F.M., (2017), *Vosproizvodstvo plodorodiya oroshaemykh sero-burykh pochv aridnoj zony Azerbajdzhana. Zhivye i biokosnye sistemy*. No. 21. URL: <http://www.jbks.ru/assets/files/content/2017/issue21/article-4.pdf> (accessed 20.10.2018).

2. Belobrov, V.P., Zamotaev, I.V., and Ovechkin, S.V., (2004), *Geografiya pochv s osnovami pochvovedeniya*. Moscow, Russia.

3. Zavarzin, G.A. and Kudayarov, V.N., (2006), *Pochva kak glavnyj istochnik uglekisloty i rezervuar organicheskogo ugleroda na territorii Rossii. Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk*. Vol. 76, No. 1, pp. 14–29.

4. Kamyshova, G.N., Korsak, V.V., Fal'kovich, A.S., and Kholudeneva, O.Y., (2012), *Matematicheskoe modelirovanie v komponentakh prirody*. Saratov, Russia.

5. Kozun', Yu.S., (2014), *Vliyanie klimata na biologicheskie svoystva pochv yuga Rossii*, Abstract of PhD dissertation, Biology, Rostov-na-Donu, Russia.

6. Mamedov, D.Sh., (2015), *Ekologicheskaya model' plodorodiya pod maslinoj na Apsheronskom poluostrove. Uspekhi sovremennoj nauki*. No. 2, pp. 88–93.

7. *Monitoring potokov parnikovyykh gazov v prirodnykh ehkossistemakh*. (Pod red. D.G. Zamolodchikova, D.V. Karelina, M.L. Gitarskogo, V.G. Blinova) (2017). Saratov, Russia.

8. Stepanov, A.L., (2011), *Mikrobnaya transformatsiya parnikovyykh gazov v pochvakh*. Moscow, Russia.

9. Yanov, V.I. (2009), *Urozhajnost' i pitatel'naya tsennost' vidov polyni, perspektivy ikh prakticheskogo ispol'zovaniya v usloviyakh severo-zapadnoj chasti Prikaspiya. Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ikh ispol'zovaniya*. Vol. 3, pp. 317–325.

10. Abdalla, M., Saunders, M., Hastings, A., Williams, M., Smith, P., Osborne, B., Lanigan, G., and Jones, M.B., (2013), *Simulating the impacts of land use in Northwest Europe on Net Ecosystem Exchange (NEE): The role of arable ecosystems, grasslands and forest plantations in climate change mitigation. Science of the Total Environment*. No. 465, pp. 325–336.

11. Bolan, N.S., Saggar, S., Luo, J., Bhandral, R., and Singh, J., (2004), *Gaseous emissions of nitrogen from grazed pastures: processes, measurements and modeling, environmental implications, and mitigation. Advances in agronomy*. Vol. 84, pp. 38–120.

12. Deng, J., Li, C., Frolking, S., Zhang, Y., Bäckstrand, K., and Crill, P., (2014), *Assessing effects of permafrost thaw on C fluxes based on multiyear modeling across a permafrost thaw gradient at Stordalen, Sweden. Biogeosciences*. No. 11, pp. 4753–4770.

13. *Estimation of emissions from agriculture*, (2004), United Nations framework convention on climate change. FCCC/SBSTA/2004/INF.4. GE.04–61454. Bonn, Germany. URL: <http://unfccc.int/resource/docs/2004/sbsta/inf04.pdf> (accessed 20.10.2018).

14. Giltrap, D.L., Li, C., and Saggar, S., (2010), *DNDC: a process-based model of greenhouse gas fluxes from agricultural soils. Agriculture, Ecosystems & Environment*. Vol. 136. No. 3–4, pp. 292–300.

15. Haoa, Y., Kanga, X., Wua, X., Cuia, X., Liua, W., Zhanga, H., Lia, Y., Wanga, Y., Xuc, Z., and Zhaoda, H., (2013), *Is frequency or amount of precipitation more important in controlling CO₂ fluxes in the 30-year-old fenced and the moderately grazed temperate steppe? Agriculture, Ecosystems and Environment*. No. 171, pp. 63–71.

16. Kang, X., Hao, Y., Cui, X., Chen, H., Li, C., Rui, Y., Tian, J., Kardol, P., Zhong, L., Wang, J., and Wang, Y., (2013), *Effects of grazing on CO₂ balance in a semiarid steppe: field observations and modeling. Journal of Soils and Sediments*. No. 13, pp. 1012–1023.

17. Li, C., Frolking, S., and Frolking, T.A., (1992), A model of nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: 1. Model structure and sensitivity. *Journal of geophysical research*. Vol. 97. No. D9, pp. 9759–9776.
18. Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V., (1970), River flow forecasting through conceptual models. Part I - A discussion of principles. *Journal of hydrology*. Vol. 10. No. 3, pp. 282–290.
19. *Report of the thirty-eighth meeting of the small-scale working group*, (2012), Bonn, Germany.
20. Sutton, W.R., Srivastava, J.P., Neumann, J.E., Droogers, P., and Boehlert, B.B., (2013), Reducing the vulnerability of Uzbekistan's agricultural systems to climate change. *Impact assessment and adaptation options*. Washington. USA.
21. *User friendly manual of the EX-Ante Carbon-balance Tool (EX-ACT)*. Estimating and targeting greenhouse gas mitigation in agriculture, livestock, forestry and land use projects. (2013), Rome: FAO.

Поступила в редакцию: 28.10.2018

Сведения об авторах

Суховеева Ольга Эдуардовна

кандидат географических наук, младший научный сотрудник лаборатории антропогенных изменений климатической системы, Институт географии РАН; Россия, 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29

e-mail: olgasukhovееva@gmail.com

Насыров Мухтор Гаффарович

кандидат биологических наук, профессор, проректор по международному сотрудничеству, Самаркандский государственный университет; Республика Узбекистан, 140104, Самарканд, Университетский бул., 15

e-mail: muhtorgn@gmail.com

About the authors

Olga E. Sukhovееva

Candidate of Geographic Sciences
Junior Researcher, Laboratory for Anthropogenic Changes in the Climate System (LACCS), Institute of Geography, Russian Academy of Sciences;
29, Staromonetny pereulok, Moscow, 119017, Russia

Mukhtor G. Nasirov

Candidate of Biological Sciences, Professor
Vice-Rector for International Cooperation, Samarkand State University
15, Universitetskiy bulvar, Samarkand, 140104, Uzbekistan

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Суховеева О.Э., Насыров М.Г. Моделирование баланса CO₂ в полупустынных экосистемах Узбекистана // Географический вестник = Geographical bulletin. 2019. №2(49). С. 5–12. doi 10.17072/2079-7877-2019-2-5-12.

Please cite this article in English as:

Sukhovееva O.E., Nasirov M.G. Modeling CO₂ balance in semidesert ecosystems of Uzbekistan // Geographical bulletin. 2019. №2(49). P. 5–12. doi 10.17072/2079-7877-2019-2-5-12.