

УДК 57.045

**ИССЛЕДОВАНИЕ БИОСФЕРНОЙ ФУНКЦИИ РЕГУЛЯЦИИ УГЛЕРОДНОГО  
ЦИКЛА РАСТИТЕЛЬНЫМИ СООБЩЕСТВАМИ СТРАН ЗАПАДНОЙ АЗИИ**

**RESEARCH OF BIOSPHERIC REGULATION OF THE CARBON CYCLE  
IN WEST ASIA**

©**Курбатова А. И.**

канд. биол. наук

Российский университет дружбы народов  
г. Москва, Россия, [kurbatova\\_ai@mail.ru](mailto:kurbatova_ai@mail.ru)

©**Kurbatova A.**

Ph.D., Peoples' Friendship University of Russia  
Moscow, Russia, [kurbatova\\_ai@mail.ru](mailto:kurbatova_ai@mail.ru)

©**Тарко А. М.**

д-р физ-мат. наук, Федеральный исследовательский центр «Информатика и  
управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия, [tarko@mail.ru](mailto:tarko@mail.ru)

©**Tarko A.**

Dr. habil., Federal Research Center "Computer Science and Control"  
of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, [tarko@mail.ru](mailto:tarko@mail.ru)

*Аннотация.* На основе пространственной математической модели глобального цикла поглощения выбросов двуокиси углерода от сжигания ископаемого топлива, вырубки лесов и эрозии почв наземных экосистем были рассчитаны показатели двуокиси углерода в биосфере для всего мира и стран Западной Азии. Представлены расчеты от последствий вырубки тропических лесов и эрозии почв из-за ненадлежащего использования земли и изменения климата до 2060 года для стран Западной Азии.

*Abstract.* On the basis of the spatial mathematical model of the global carbon dioxide cycle in the biosphere the absorption of carbon dioxide emissions from the fossil fuel burning, deforestation, and soil erosion by terrestrial ecosystems was calculated for all the world and countries of the West Asia. Effects of deforestation of tropical forests and soil erosion because of inappropriate land use and climate change were calculated until 2060 for countries of the West Asia.

*Ключевые слова:* математическое моделирование, глобальный биогеохимический цикл, углекислый газ, глобальное потепление, антропогенные воздействия, региональные последствия.

*Keywords:* mathematical modeling, global biogeochemical cycles, carbon dioxide, global warming, anthropogenic impacts, regional consequences.

Страны Западной или Передней Азии (Катар, Кувейт, Йемен, Сирия, Турция, Израиль, Азербайджан, ОАЭ, Саудовская Аравия, Иордания, Армения, Грузия, Ирак и Иран) вносят значительный вклад в выбросы двуокиси углерода — средний душевой показатель в период с 1990 по 2005 гг. вырос на 28% [1]. Суммарный вклад данных стран в глобальное потепление составляет 4,7% от общего мирового объема выбросов парниковых газов, что связано с развитием энергетики, нефтяной, нефтехимической, цементной промышленности, увеличением числа предприятий агрохимии и металлургии при крайне высокой энергоёмкости экономики [1, с. 74]. 10 декабря 2013 года в Абу-Даби был выпущен «Атлас арабского региона нашей изменяющейся окружающей среды» (The Arab Region Atlas of Our Changing Environment) [2]. Этот атлас отражает изменения окружающей среды, которые

произошли в более чем 80 точках по всему Арабскому региону, и для этого используются наземные фотографии и современные и исторические спутниковые изображения с пояснениями, основанными на обширных научных данных. Исследования «до и после», представленные в атласе, наглядно демонстрируют темпы развития в регионе, при этом приводятся убедительные примеры широкомасштабных изменений окружающей среды, в том числе изменений землепользования, урбанизации, деградации морских акваторий и прибрежных зон, изменений гидрологии и сокращения водоемов, потери среды обитания и последствий изменения климата. Широкий спектр очертаний суши, почв и климатов в Западной Азии привел к большому разнообразию экосистем, от прибрежных мангровых деревьев к пустыням. Однако деградация земель и опустынивание продолжают оставаться наряду с водной проблемой наиболее важными в регионе [3]. Особенности географического положения региона, 88% территории которого находится в засушливой и полусухой климатической зоне, повышают риск распространения этого процесса на 20% территории в результате применения неадекватных природным ограничителям методов обработки и использования земли [1]. Опустынивание, ветровая и водная эрозия приводит к низкому содержанию органического углерода (0,2–0,8%) в почве, что ведет к низкой продуктивности биомассы. Эти процессы сопряжены с пониженным содержанием питательных веществ в почве, в особенности азота, и повышенным засолением. Существует тесная взаимосвязь между обеспеченностью водой и питательными элементами и ростом органического углерода в почве [4]. Так, способность секвестрирования углерода в экосистемах региона снижается в ряду: орошаемые земли — неорошаемые земли — пастбища. В Таблице 1 представлена площадь разных типов земель региона Западная Азия, вовлеченных в процесс опустынивания.

Таблица 1.

ПЛОЩАДЬ ЗЕМЕЛЬ ЗАПАДНОЙ АЗИИ, ВОВЛЕЧЕННЫХ В ПРОЦЕСС  
 ОПУСТЫНИВАНИЯ, 1000 ГА [5]

Страна	Орошаемые Земли	Неорошаемые Земли	Пастбища	% от общей площади
Иран	1200	2000	128000	80,9
Ирак	1250	1400	34500	84,9
Иордания	13	210	6200	71,2
Кувейт	0	0	1960	90,0
Саудовская Аравия	260	460	90000	42,2
Сирия	110	3500	11600	82,2
Турция	290	12700	28900	54,1
ОАЭ	2	0	900	10,7
Йемен	50	780	26000	50,7

При анализе данных из Таблицы видно, что в Ираке, Кувейте и Иране все больше земель подвергается опустыниванию, что отрицательно сказывается на способности секвестрирования углерода соответствующими растительными экосистемами. В отдельных странах Западной Азии, например, в ОАЭ, площадь опустыненных земель составляет 10,7% от общей площади, что связано с повышением эффективности методов управления земельными ресурсами. В докладе FAO (FAO, 2008) отмечено, что в ОАЭ обширные плантации финиковых пальм улучшили ландшафт, одновременно обеспечивая значительные доходы.

*Методика исследования*

Для исследования региональных последствий глобального потепления и землепользования в странах Западной Азии был проведен расчет изменения фитомассы, гумуса и общего количество углерода под воздействием индустриальных выбросов CO<sub>2</sub>,

вырубки лесов (тропические леса) и эрозии гумуса, связанной с нерациональной организацией землепользования. Авторами статьи проведены расчеты для периода 1860–2060 г. г. на пространственной модели глобального цикла углерода ВЦ РАН. В модели учитывалось, что промышленные выбросы  $\text{CO}_2$ , вырубка лесов и эрозия почв, происходящие на территории стран, в течение времени около двух недель перемешиваются в широтном направлении и в течение 2–3 месяцев в меридиональном направлении, т. е. в течение одного года. Поэтому каждая страна или регион одновременно испытывает действие изменения климата, зависящее от суммарных выбросов всех стран мира в течение года. Следовательно, для расчета изменений климата, происходящих при глобальном потеплении в одном регионе или стране необходимо применять модель глобального цикла углерода, учитывающую суммарные выбросы  $\text{CO}_2$  стран всего мира, начиная с промышленного периода (обычно в моделях глобального цикла углерода за начало этого периода принимается 1860 год). В глобальной пространственной модели цикла углерода ВЦ РАН в биосфере [6] применено разбиение поверхности суши на ячейки  $0,5 \times 0,5$  град. (примерно  $50 \times 50$  км) географической сетки, она реализована на ЭВМ. Модель описывает процессы роста и отмирания растительности, накопления и разложения гумуса в терминах обмена углеродом между атмосферой, растениями и гумусом почвы в каждой ячейке суши. Переменными модели являются количество углерода в фитомассе растительности суши и в гумусе почв в каждой ячейке применяемого разбиения, а также количество углерода в атмосфере в виде  $\text{CO}_2$ . Принята классификация типов экосистем Дж. Олсона, в которой учитываются не только естественные экосистемы, но и сельскохозяйственные [7]. В углеродном балансе страны поглощающая способность  $\text{CO}_2$  должна оцениваться как составная часть глобального баланса с учетом вклада не только лесных, но и других биомов (лугов, сельхозугодий, болот, тундры) [8]. Климат в каждой ячейке модели характеризуется среднегодовой температурой воздуха у поверхности земли и количеством осадков за год. Значения температуры и осадков для каждой ячейки суши в зависимости от количества углерода в атмосфере (парниковый эффект) рассчитываются с помощью климатической модели общей циркуляции атмосферы и океана [9, с. 25]. Модель дополнена моделью цикла углерода в системе «атмосфера–океан» [6]. Моделировалась динамика биосферы с 1860 г. по 2060 г. Был принят следующий базовый сценарий. Антропогенное поступление  $\text{CO}_2$  в атмосферу начинается в 1860 г., оно происходит в результате промышленных выбросов  $\text{CO}_2$  от сжигания ископаемых органических топлив, вырубки лесов и эрозии почв. Данные о значениях промышленных выбросов  $\text{CO}_2$  для всего мира и всех стран в 1751–2013 г. г. взяты из литературных данных [10]. После 1950 г. идет вырубка и последующее уничтожение тропических лесов. В этот период масса тропических лесов каждый год уменьшается на 0,6% [10, с. 18], соответствующее количество  $\text{CO}_2$  от разложившегося органического вещества древесины поступает в атмосферу. Эрозия почв связана с нерациональной эксплуатацией земель, соответствующее количество  $\text{CO}_2$  от вынесенного гумуса поступает в атмосферу. Темпы эрозии, начиная с 1860, принимаются равными 0,15% в год [10]. В разных экосистемах учитывается различное изменение вырубки и эрозии во времени. Территория вырубки и эрозии задается соответствующими пространственными распределениями (в современных компьютерных программах пространственное распределение задается типом экосистемы).

Для исследования региональных последствий глобального потепления и землепользования в странах Западной Азии был проведен расчет изменения фитомассы, гумуса и общего количество углерода под воздействием промышленных выбросов  $\text{CO}_2$ , вырубки лесов (тропические леса) и эрозии гумуса, связанной с нерациональной организацией землепользования. В странах Западной Азии сразу после 2000 г. гумус увеличивается в Катаре, ОАЭ, Кувейте, Саудовской Аравии, Йемене, Иордании, Сирии, Ираке и Иране. Причем максимальное увеличение (на 21% к 2060 г. по сравнению с 2000 г.) наблюдается в Катаре, наименьшее — в Азербайджане (на 9,2%). В Турции наблюдается

увеличение гумуса только к 2060 г. Уменьшение гумуса в Армении, Израиле, Грузии и Азербайджане происходит вплоть до окончания моделируемого периода — 2060 г. Это объясняется тем, что одним из неблагоприятных последствий глобального потепления является повышение засушливости климата на территориях стран данного региона. Это приводит к значительному снижению связывания углерода в виде чистой первичной продукции практически во всех естественных экосистемах, что существенно снижает баланс углерода.

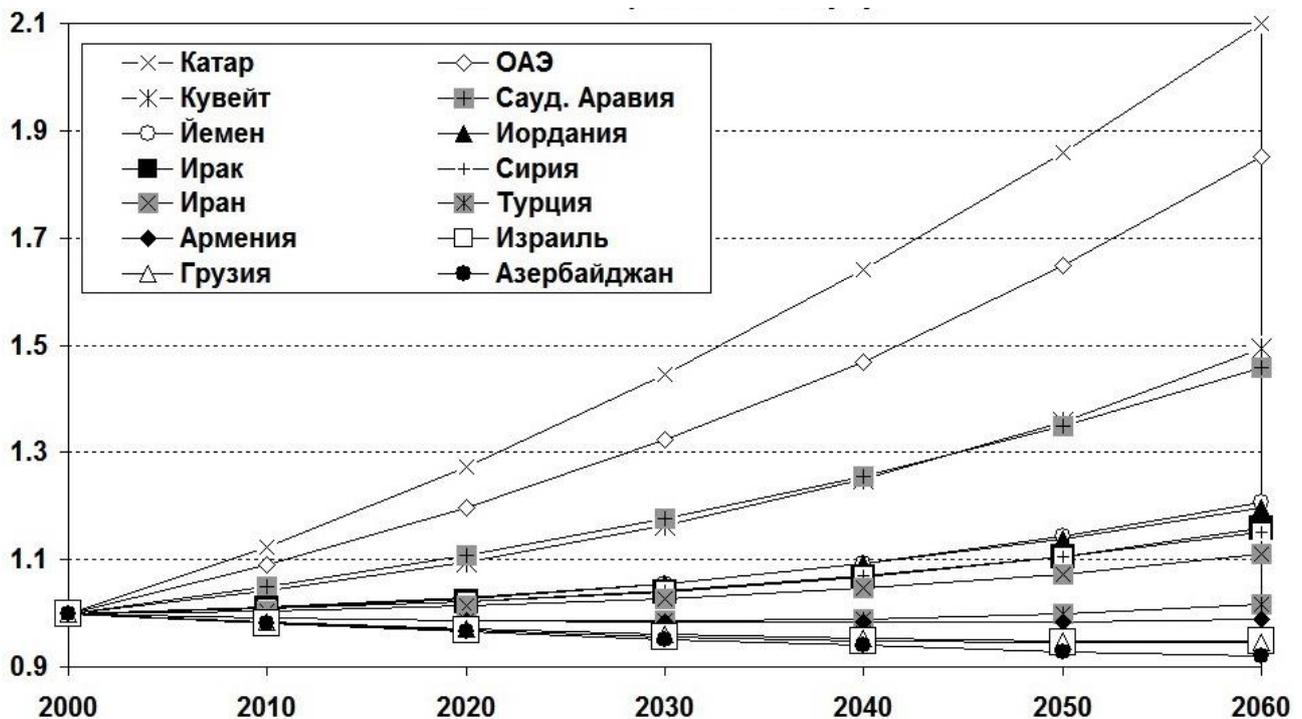


Рисунок 1. Изменение количества углерода в гумусе в странах Западной Азии в течение 2000–2060 г. г.

Результаты расчетов показывают рост фитомассы в странах Западной Азии (Рисунок 2). Во всех странах региона наблюдается рост фитомассы к 2060 г. В моделируемый период наибольший прирост фитомассы происходит в Катаре — рост фитомассы к 2060 г. достигает 15,7%, самый низкий — в Азербайджане (рост фитомассы к 2060 г. достигает 10,2% по сравнению с 2000 г.). Суммарная регуляторная функция наземных экосистем стран региона противодействует росту концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере. Мощность регуляторных функций экосистем на значительных территориях рассматриваемого региона снижена из-за их антропогенной деградации и климатических изменений.

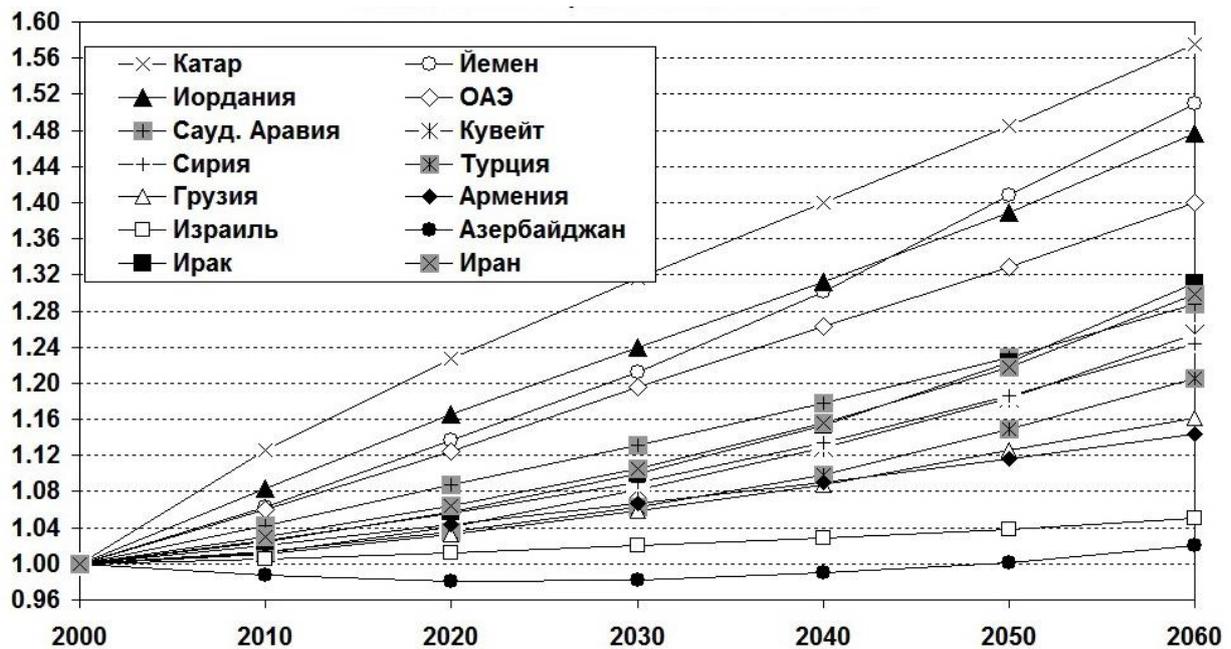


Рисунок 2. Изменение количества углерода в фитомассе в странах Западной Азии в течение 2000–2060 г. г.

Рассмотрим изменение общего количества углерода (в фитомассе и гумусе) (Рисунок 3). Во всех странах, кроме Израиля и Азербайджана, наблюдается увеличение углерода к 2060 г. Наибольший рост фитомассы и гумуса к 2060 происходит в Катаре — 24%, самый низкий — в Грузии — 10%.

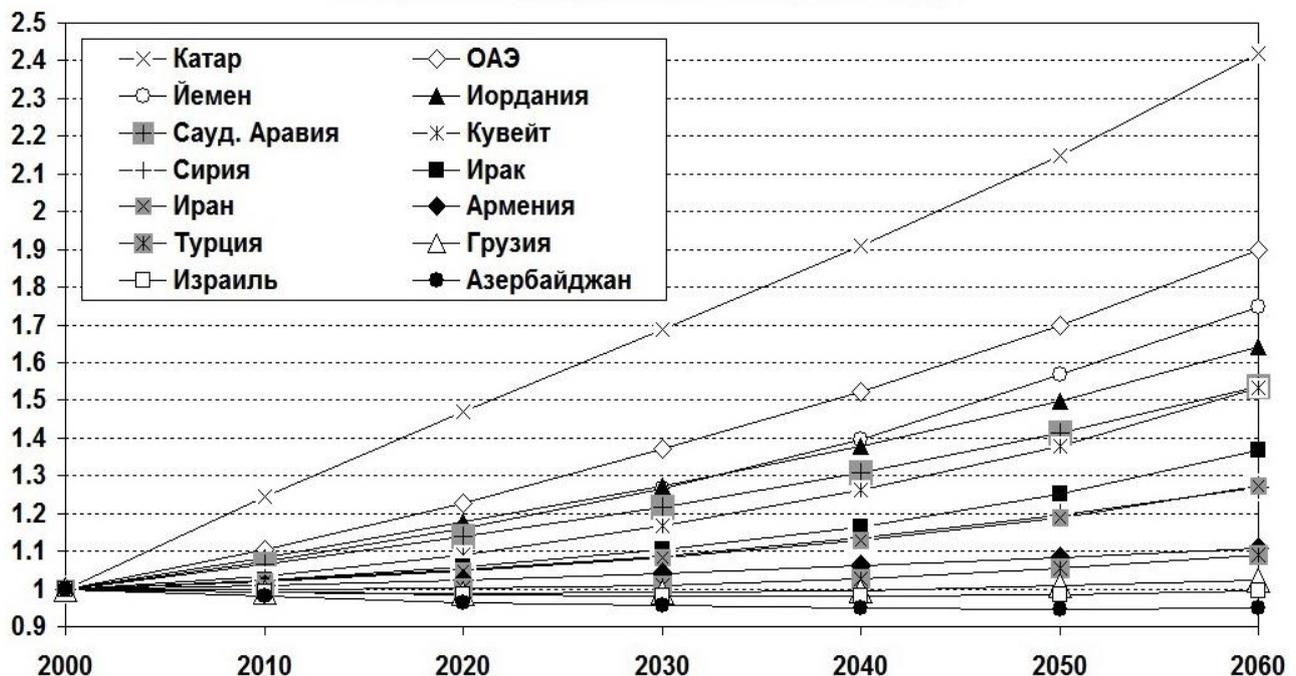


Рисунок 3. Изменение количества углерода в гумусе и фитомассе в странах Западной Азии в течение 2000–2060 г. г.

Страны Западной Азии путем внедрения различных технологий стараются решить климатическую проблему за счет достижения «нулевого углеродного баланса». В работе R. Lal [5] отмечается, что ряд растений: тамариски (*Tamarix sp.*), эвкалипты (*Eucalyptus sp.*), прозописы (*Prosopis sp.*), *Leucaena* (род растений из сем. Бобовых) способны произрастать в условиях высокого засоления почвы и служить источником биотоплива. Исследования показали, что посадки прозописа сережкоцветного (*Prosopis juliflora*) на сильнозасоленных почвах способствовали росту углеродного пула почвы с 10 до 45 мг С/га за 8-летний период наблюдения [11].

Однако, исследования, проведенные в тропических лесах и саваннах Южной Америки и Юго-Восточной Азии, а также в прериях США, показали, что при переводе природных экосистем в плантации для выращивания биотоплива, в атмосферу выделяются большие потоки парниковых газов из почв, торфа и подстилки. Выбросы углекислого газа, в зависимости от типа экосистемы и выращиваемой культуры, могут от 17 до 420 раз превышать его «экономия» от использования выращенного биотоплива. В Амазонии и Малайзии для возмещения этой эмиссии углерода выращенным биотопливом потребуется 300–400 лет [12]. Этот пример показывает, что действия, направленные только на решение задачи снижения концентрации парниковых газов без учета возможных изменений средообразующих функций экосистем, могут привести к прямо противоположному результату [13, 14].

Согласно проведенным модельным расчетам выявлено, что суммарная регуляторная функция растительных сообществ стран Западной Азии будет противодействовать росту концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере. Однако, следует учесть, что снижение биологического потенциала растительных экосистем во многих странах в результате антропогенной деградации и климатических изменений приводит к ослаблению их регуляторной мощности, которой может стать недостаточно для того, чтобы остановить рост концентрации CO<sub>2</sub> в будущем. Установленные зависимости могут быть использованы для определения критерия биосферной устойчивости стран Западной Азии к антропогенному воздействию в условиях возрастания концентрации углекислого газа и при исследовании зависимости зон деградации лесов от климата.

#### Список литературы:

1. Рогожина Н. Г. Экологическая политика развивающихся стран. Москва: Аспект Пресс, 2015, 336 с.
2. Arab Region: Atlas of Our Changing Environment. United Nations Environment Programme (UNEP). Nairobi: UNEP, 2013. 303 p.
3. People, forests and trees in West and Central Asia: outlook for 2020. Food & Agriculture Organi, 2007.
4. Cooper P. J. M, Gregory P. J, Tully D., Harris H. C. Improving water use efficiency of annual crops in the rained farming systems of West Asia and North Africa // Exploring Agriculture. 1987. №23. P. 113–158.
5. Lal R. Carbon sequestration in dryland ecosystems of West Asia and North Africa // Land degradation and development. 2002. №13. P. 45–59. DOI: 10.1002/ldr.477.
6. Marland G., Boden T., Andres B. Global CO<sub>2</sub> Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751–2009. NDP-030 // Carbon Dioxide Information Analysis Center. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. 2010.
7. Olson J. S., Watts J. A., Allison L. J. Major world ecosystem complexes ranked by carbon in live vegetation: a data base // Oak Ridge National Laboratory. Environmental Sciences Division, Oak Ridge, NDP-017, 1985. 164 p.
8. Brown S. Gaston G. Use of Forest Inventories and Geographic Information Systems to Estimate Biomass Density of Tropical Forests: Application to Tropical Africa // Environ. Monitor. Assess. 1995. №38. P. 157–168.

9. Тарко А. М. Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. Математическое моделирование. Москва: Физматлит, 2005. 232 с.
10. Schlesinger M. E. Simulating CO<sub>2</sub>-induced climatic change with mathematical climate models: Capabilities, limitations and prospects. Proceedings // Carbon Dioxide Research Conference: Carbon Dioxide, Science and Consensus. Berkeley Springs: Coolfont Conference Center, 1983.
11. Carg V. K. Interaction of Tree Crops with Sodic Soil Environment: Potential for Rehabilitation of Degraded Environments // Land Degradation and Development. 1998. №9, pp. 81–93.
12. Fargione J., Hill J., Tilman D., Polasky S., Hawthorne P. Land clearing and the biofuel carbon debt // Science. 2008. V. 319. P. 1235–1238.
13. Букварева Е. Н. Роль наземных экосистем в регуляции климата и место России в посткиотском процессе. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 97 с.
14. Тарко А. М., Курбатова А. И. Влияние промышленных выбросов CO<sub>2</sub> на биосферные параметры экосистем стран БРИКС // Вестник РУДН. Серия экология и безопасность жизнедеятельности. 2016. №1. С. 26–31.

*References:*

1. Rogozhina N. G. Ekologicheskaya politika razvivayushchikhsya stran (Environmental policy in developing countries). Moscow, Aspekt Press, 2015, 336 p. (In Russian).
2. UNEP (2013). Arab Region: Atlas of Our Changing Environment. United Nations Environment Programme (UNEP). Nairobi, Kenya.
3. People, forests and trees in West and Central Asia: outlook for 2020. Food & Agriculture Organi, 2007.
4. Sooper PJ. M, Gregory P. J, Tully D, Harris HC. 1987. Improving water use efficiency of annual crops in the rained farming systems of West Asia and North Africa. Exploring Agriculture 23: 113–158.
5. Lal R. 2002. Carbon sequestration in dryland ecosystems of West Asia and North Africa. Land degradation and development 13: 45–59. DOI: 10.1002/ldr.477.
6. Marland G., Boden T., and Andres B., 2010. Global CO<sub>2</sub> Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751–2009. NDP-030. Carbon Dioxide Information Analysis Center. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
7. Olson J. S., Watts J. A., and Allison L. J., 1985. Major world ecosystem complexes ranked by carbon in live vegetation: a data base. Oak Ridge National Laboratory. Environmental Sciences Division, Oak Ridge, NDP-017, 164 p.
8. Brown, S. and Gaston, G: Use of Forest Inventories and Geographic Information Systems to Estimate Biomass Density of Tropical Forests: Application to Tropical Africa, Environ. Monitor. Assess., 38, 157–168, 1995.
9. Тарко А. М. Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. Математическое моделирование (Anthropogenic changes of global biospheric processes. Math modeling). Moscow, Fizmatlit, 2005, 232 p. (In Russian).
10. Schlesinger M. E. Simulating CO<sub>2</sub>-induced climatic change with mathematical climate models: Capabilities, limitations and prospects. Proceedings: Carbon Dioxide Research Conference: Carbon Dioxide, Science and Consensus. Coolfont Conference Center, Berkeley Springs, 1983.
11. Carg, V. K. 1998. Interaction of Tree Crops with Sodic Soil Environment: Potential for Rehabilitation of Degraded Environments. Land Degradation and Development, 9:81-93.
12. Fargione, J., Hill, J., Tilman, D., Polasky, S. and Hawthorne, P. 2008. Land clearing and the biofuel carbon debt. Science 319: 1235-1238.
13. Букварева Е. Н. Роль наземных экосистем в регуляции климата и место России в посткиотском процессе (The role of terrestrial ecosystems in climate regulation and the place of Russia in the post-Kyoto process). Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010, 97 p. (In Russian).

14. Tarko A. M., Kurbatova A. I. Vliyanie industrialnykh vybrosov CO<sub>2</sub> na biosfernye parametry ekosistem stran BRIKS (The impact of CO<sub>2</sub> emissions on the industrial ecosystem biosphere parameters BRICS). Vestnik RUDN, Series of ecology and life safety, 2016, no. 1, pp. 26–31. (In Russian).

*Работа поступила  
в редакцию 13.01.2017 г.*

*Принята к публикации  
17.01.2017 г.*

---

*Ссылка для цитирования:*

Курбатова А. И., Тарко А. М. Исследование биосферной функции регуляции углеродного цикла растительными сообществами стран Западной Азии // Бюллетень науки и практики. Электрон. журн. 2017. №2 (15). С. 91–98. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/kurbatova-tarko> (дата обращения 15.02.2017).

*Cite as (APA):*

Kurbatova, A., & Tarko, A. (2017). Research of biospheric regulation of the carbon cycle in West Asia. *Bulletin of Science and Practice*, (2), 91–98. Available at: <http://www.bulletennauki.com/kurbatova-tarko>, accessed 15.02.2017. (In Russian).