DOI:10.17308/978-5-9273-3692-0-2023-166-169

ФИТОПРОДУКТИВНОСТЬ РЕЧНОГО БАССЕЙНА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

PHYTOPRODUCTIVITY OF A RIVER BASIN BASED ON REMOTE SENSING DATA

Трифонова Т.А.[1], Мищенко Н.В.[2], Репкин Р.В.[2], Шутов П.С.[2]
Trifonova T.A.[1], Mishchenko N.V.[2], Repkin R.V.[2], Shutov P.S.[2]

e-mail: tatrifon@mail.ru
[1]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[2]Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых, Владимир, Россия
[1]Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
[2]Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletov, Vladimir, Russia

Аннотация. *Продуктивность растительного покрова рассматривается как одна из важнейших характеристика устойчивости ландшафтов. Настоящая работа посвящена оценке трендов динамики фитопродукционных процессов в речных бассейнах, расположенных в различных ландшафтных провинциях бассейна Оки по данным дистанционного зондирования. Работа выполнена с применением ГИС анализа данных дистанционного зондирования в разработанной авторами геоинформационной системе бассейна Оки и основана на ландшафтном и бассейновом подходах. Показано, что наиболее благоприятные условия для накопления фитомассы складываются в водосборах, приуроченных к Клинско-Дмитровской и Смоленско-Московской провинциям. Ключевой бассейн реки Колокши демонстрирует, что оптимальные условия формирования фитопродукции создаются здесь за счет плодородных серых лесных почв Владимирского Ополья и благоприятных климатических условий. Наиболее неблагоприятная экологическая ситуация складывается в бассейне реки Пара Окско-Донской провинции, где низкие показатели продуктивности сопровождаются отрицательным ее трендом и высокой антропогенной нагрузкой. Таким образом, в различных участках бассейна Оки происходят разнонаправленные изменения показателей фитопродуктивности, но целостный бассейн уравновешивает эти динамические процессы и сохраняет стабильность.*

Abstract. *The productivity of vegetation cover is considered as one of the most important characteristics of landscape stability. This work is devoted to the assessment of trends in the dynamics of phytoproduction processes in river basins located in various landscape provinces of the Oka basin according to remote sensing data. The work was performed using GIS analysis of remote sensing data in the geoinformation system of the Oka basin developed by the authors and is based on landscape and basin approaches. It is shown that the most favorable conditions for the accumulation of phytomass are formed in catchments confined to the Klin-Dmitrov and Smolensk-Moscow provinces. The key basin of the Koloksha River demonstrates that optimal conditions for the formation of phytoproducts are created here due to the fertile gray forest soils of the Vladimir Opole and favorable climatic conditions. The most unfavorable ecological situation develops in the Steam basin of the Oka-Don province, where low productivity indicators are accompanied by its negative trend and high anthropogenic load. Thus, in different parts of the Oka basin, there are multidirectional changes in phytoproductivity indicators, but the integral basin balances these dynamic processes and maintains stability.*

Ключевые слова: *речной водосборный бассейн, валовая и чистая первичная продукция экосистем, ландшафты, данные дистанционного зондирования Modis*

Keywords: *river catchment basin, gross and net primary production of ecosystems, landscapes, Modis remote sensing data*

Введение. В настоящее время продуктивность растительного покрова считается важнейшей характеристикой состояния и устойчивости ландшафта. Под продуктивностью понимается прирост фитомассы за определенный промежуток времени. Экосистема считается нормально функционирующей, если уровень продукции со временем не изменяется [1].

Для изучения фитопродукционных процессов все большее распространение получают методы дистанционного зондирования. Наличие разнообразных баз данных позволяет изучать экосистемы в динамическом развитии с использованием таких показателей, как валовая и чистая продукция, затраты растений на дыхание, динамика углерода и др. [3, 5]. Актуальным является изучение показателей продуктивности в углеродных единицах, эти данные широко используются для оценки углеродного баланса и стабильности экосистем. В настоящее время все чаще используются открытые глобальные данные MODIS о валовой первичной продукции – GPP, для изучения углеродного цикла, связанного с наземными экосистемами [4, 5].

Первичная валовая продукция или продукция (Gross Primary Productivity, GPP), первичная нетто-продукция (Net Primary Productivity, NPP), а также дыхание экосистемы (Ecosystem Respiration, RE) являются наиболее важными параметрами, определяющими структуру углеродного баланса экосистем [2].

Настоящая работа посвящена оценке трендов динамики продукционных процессов в речных бассейнах, расположенных в различных ландшафтных провинциях бассейна Оки по данным дистанционного зондирования.

Объект и методы исследования. *Объектом исследования явился бассейн Оки,* который является ландшафтно неоднородным и включает 8 ландшафтных провинций: Клинско-Дмитровская, Волжско-Клязьминская, Мещерская, Окско-Цнинская, Смоленско-Московская, Окско-Донская, Мокша-Тешинская, Среднерусская (рис. 1). На территории бассейна выделены бассейны 3-го и 4-го порядков. Для подробного анализа выбрано 5 репрезентативных ключевых бассейнов: Уводь, Колокша, Протва, Зуша, Пара (табл.)

Работа выполнена с применением геоинформационного анализа данных дистанционного зонди-

рования и картографической информации о почвенно-растительном покрове в разработанной *авторами геоинформационной системе бассейна Оки*.

Векторизация речной сети и определение границ водоразделов проведена на основе цифровой модели рельефа (ЦМР). Входными данными являлась радарная топографическая съемка Земли – SRTM 30 (Shuttle radar topographic mission).

Расчет показателей продукции в углеродных единицах основан на данных Modis GPP/NPP. Для пика вегетационного сезона (середина июля) рассчитаны валовая первичная продукция (gross primary production), г С/м^2 (GPP); чистая первичная продукция (net primary production) (ЧПП), г С/м^2 (NPP); общие затраты на дыхание автотрофов, г С/м^2 (RE). Полученный набор растровых сцен формата HDF обрабатывался инструментами переклассификации и зональной статистики ГИС пакета ArcGis.

Результаты. Анализ фитопродуктивности водосбора Оки был проведен в целом для его территории, и для речных бассейнов 3 и 4 порядков, из которых для детального анализа динамики фитопродуктивности выбрано 5 ключевых бассейнов, относящихся к различным ландшафтным провинциям (рис 1, табл.).

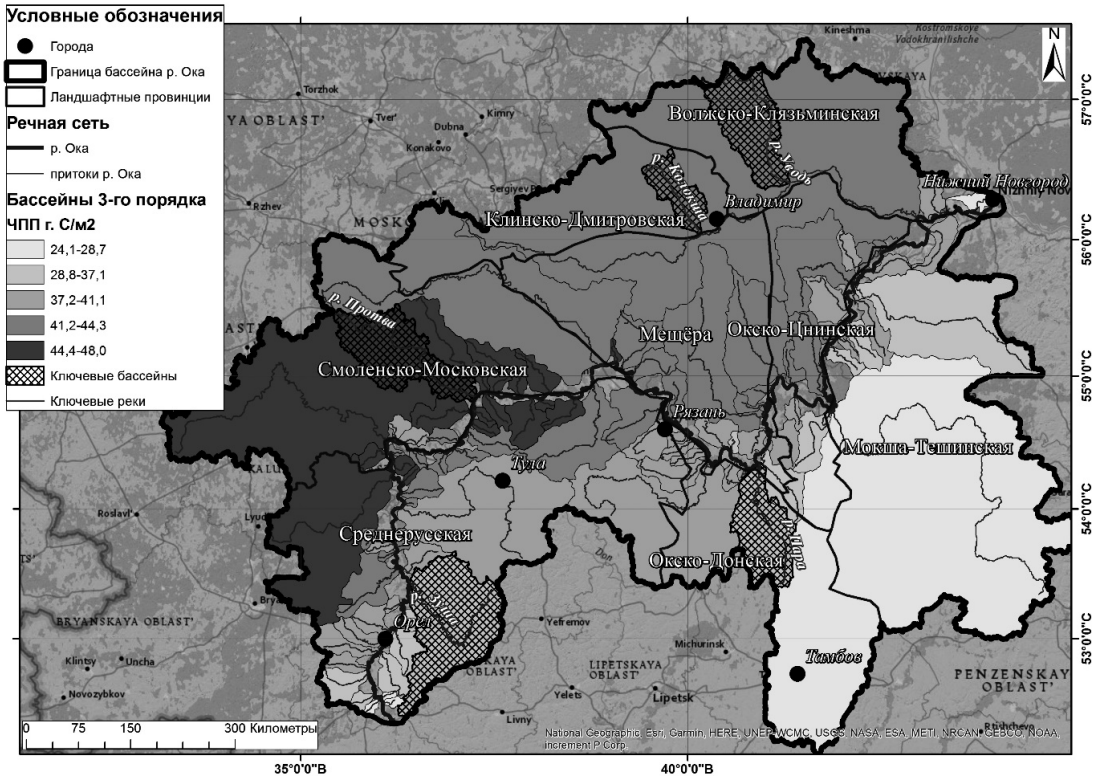

Рис. 1. ЧПП в бассейнах 3-го порядка различных ландшафтных провинций

В целом бассейне Оки с 2000 по 2015 годы средняя чистая первичная продукция составила около 40 г С/м^2, ее изменения по годам характеризуются коэффициентом вариации 18,5%, и не приводят к существенным изменениям в большую или меньшую сторону.

В разработанной авторами геоинформационной системе бассейна Оки проведена кластеризация бассейнов 3 и 4 порядков по показателям фитопродуктивности. На рисунке 1 представлен пример такой кластеризации для речных бассейнов 3 порядка по чистой первичной продукции. Бассейны с высокой продуктивностью расположены в северо-западной части водосбора в Смоленско-Московской провинции. Максимальные показатели ЧПП характерны, например, для бассейнов рек Лопасня (48 г С/м^2, Смоленско-Московская провинция), Протвы (46,5 г С/м^2, Смоленско-Московская возвышенность); Нары (46,5 г С/м^2, Смоленско-Московская провинция).

Динамика продукционных характеристик изучена для 5 ключевых бассейнов, которые отличаются ландшафтной принадлежностью и трендами изменений, результаты отражены в таблице и на рисунке 2.

Несмотря на отсутствие выраженного тренда в динамике показателей продуктивности целого бассейна Оки, в составляющих ее водосборах наблюдаются разнонаправленные изменения. На территории бассейнов Колокши и Протвы отмечается тенденция роста чистой первичной продукции. Основной вклад в рост фитопродуктивности дают зарастающие сельскохозяйственные угодья, которые имеются здесь в большом количестве. Два ключевых бассейна (рек Уводи и Зуши) демонстрируют незначительный рост ЧПП. Снижение чистой первичной продукции за анализируемый период выявлено только в бассейне р.Пара, что свидетельствует о негативных экологических процессах в данном бас-

сейне, возможно вызванных высокой сельскохозяйственной нагрузкой на его территорию. Отличается данный бассейн также самыми низкими значения ЧПП и ходом кривой ее динамики.

Таблица. Средняя многолетняя ЧПП в речных бассейнах Оки (2000-2015 гг)

Речной бассейн	Ландшафт		Порядок и площадь бассейна, км²	Чистая первичная продукция, г. С/м²	
	Провинция	Район		$\bar{x}\pm\sigma$	V,%
Уводь	Волжско-Клязьминская	Нерлинско-Клязьминская низина	4-й порядок, 3574	37,5±6,5	17,4
Колокша	Клинско-Дмитровская	Владимирское Ополье	4-й порядок, 1525	41,2±10,2	24,7
Протва	Смоленско-Московская	Смоленско-Московский	3-й порядок, 4479	41,2±10,7	25,9
Зуша	Среднерусская	Курско-Орловский	3-й порядок, 6952	37,6±9,2	24,5
Пара	Окско-Донская	Тамбовский	3-й порядок, 3625	31,7±7,7	24,4
Ока			-	36,9±6,8	18,5

Необходимо отметить, что периоды роста и падения продуктивности в целом бассейне Оки и составляющих ее водосборах имеют различный размах, но в основном совпадают по направлениям, за исключением реки Пара (рис. 2).

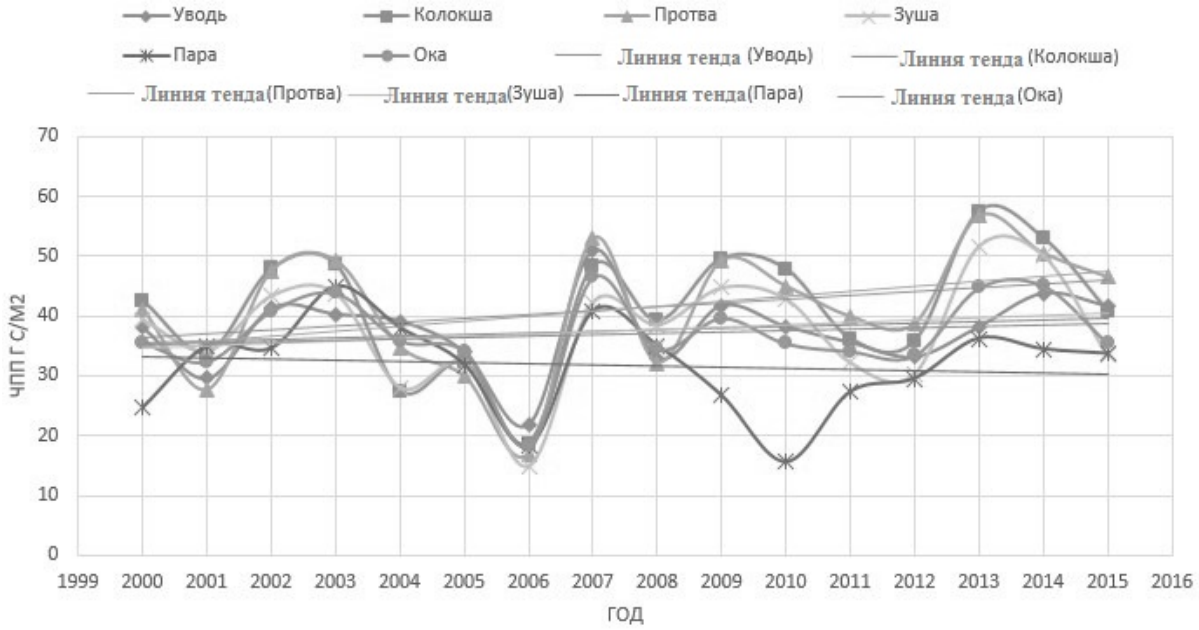

Рис. 2. Динамика чистой первичной продукции ключевых речных бассейнов и бассейна Оки с 2000 по 2015 год.

Высокие средние значения ЧПП ключевых бассейнов на протяжении всего анализируемого периода (2000-2015 годы) характерны для бассейна Колокши, который расположен на территории Клинско-Дмитровской гряды во Владимирском ополье с самыми плодородными в этом регионе экстразональными серыми лесными почвами. В бассейне Пара Оксо-Донской провинции чистая первичная продукция самая низкая, несмотря на его нахождение в зоне плодородных оподзоленных и выщелоченных черноземов и серых лесных почв. В данном случае сказывается нехватка влаги и высокая сельскохозяйственная освоенность территории. Следовательно, высокий продукционный потенциал серых лесных почв более полно реализуется в северной части бассейна, где эти почвы являются экстразональными (бассейн Колокши). Здесь сельскохозяйственная нагрузка также является высокой, но климатические характеристики более благоприятные, в частности выше коэффициент увлажнения.

Речные бассейны отличаются также вариабельностью ЧПП. Относительно стабильным является только бассейн р. Уводь (Волжско-Клязьминская провинция), где вариабельность меньше, чем в других бассейнах и составляет 17,4%. Этот бассейн является крупным, большие площади здесь заняты лесами, сельхозугодий и зарастающих угодий не много. В остальных бассейнах этот показатель примерно одинаковый (24-26%).

Установлен бассейн с ***максимально подобным целому бассейну Оки распределением показателей продукции,*** это - р. Уводь, коэффициент корреляции составляет 0,91.

Заключение. В бассейне реки Оки наиболее благоприятные условия для накопления фитомассы складываются в водосборах, приуроченных к Клинско-Дмитровской и Смоленско-Московской провинциям. На примере ключевого бассейна Колокши показано, что оптимальные условия формирования фитопродукции создаются здесь за счет плодородных серых лесных почв Владимирского Ополья и благоприятных климатических условий. Наиболее неблагоприятная экологическая ситуация складывается в бассейне реки Пара Окско-Донской провинции, где низкие показатели продуктивности сопровождаются отрицательным ее трендом и высокой антропогенной нагрузкой. Таким образом, в различных участках бассейна Оки происходят разнонаправленные изменения показателей фитопродуктивности, но целостный бассейн уравновешивает эти динамические процессы и сохраняет стабильность.

Исследование выполнено за счет регионального гранта Российского научного фонда № 22-27-20127, https://rscf.ru/project/22-27-20127/ и Владимирской области.

Литература

1. Одум, Ю.П. Экология: в 2 томах / Ю.П. Одум; перевод с англ. Ю.М. Фролова; под ред. В.Е. Соколова. - Москва: Мир, 1986. -Т. 2. - 1986. - 376 с.
2. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России: учебное пособие / В.Н. Кудеяров, Г.А. Заварзин, С.А. Благодатский [и др.]; отв. ред. Заварзин Г.А. - Москва: Наука, 2007. – 315 с.
3. Dong J., Metternicht G., Hostert P., Fensholt R., Chowdhury R.R. Remote sensing and geospatial technologies in support of a normative land system science: status and prospects // Curr. Opin. Environ. Sustain. -2019. – Vol. 38. – P. 44–52. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.05.003
4. Trifonova T. A., Mishchenko N. V., Shutov P. S. Temporal dynamics of organic matter in the basin of a river ecosystem using remote sensing. One ecosystem 2021, 6. https://doi.org/10.3897/oneeco.6.e61357
5. Wu C., Niu Z., Gao S. Gross primary production estimation from MODIS data with vegetation index and photosynthetically active radiation in maize // J. Geophys. Res. – 2010. – Vol. 115. - P. 1212-1225. https://doi.org/10.1029/2009JD013023