

УДК: 519.6

ЧИСТАЯ ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ И НАЗЕМНЫХ ДАННЫХ (КАК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОСНОВА ДЛЯ ГЛОБАЛЬНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ)

© 2009 А.А. Ларько¹, А.П. Шевырнов¹, М.Ю. Чернецкий¹,
Н.Ф. Овчинникова², Ю.Д. Иванова²

¹ Институт биофизики СО РАН, Красноярск, Россия
e-mail: lantar@inbox.ru; ap@ibp.ru; maxcher@rambler.ru

² Сибирский Федеральный Университет, Красноярск, Россия;
e-mail: nf_2004@mail.ru; lulja@yandex.ru

Одним из параметров, характеризующих глобальный углеродный цикл, является чистая первичная продукция (ЧПП), которая показывает количество углерода, ассимилированного зелеными растениями из атмосферы. В данной работе сравниваются два способа оценки ЧПП для одних и тех же территориальных участков. Это оценка на основе космических данных, получаемых с помощью модели с пространственным разрешением 500 x 500 м², и оценка на основе морфометрических измерений. А также проводится сравнение поведения значений ЧПП рассчитанных на участках, со значениями по всему югу Красноярского края.

Ключевые слова: модель Glo-PEM, чистая первичная продукция.

ВВЕДЕНИЕ

Изменение климатических тенденций во многих регионах планеты стимулировало интерес к исследованиям глобального круговорота углерода и параметрам, которые характеризуют этот процесс. Эти исследования позволяют не только оценить потоки углерода в различных экосистемах планеты, но и предсказать возможные сценарии количественных и качественных изменений этих процессов. Одними из параметров, характеризующих глобальный углеродный цикл являются концентрация в атмосфере CO₂, многолетние наблюдения за которой отразили увеличение этого парникового газа в атмосфере за счет антропогенного сжигания минеральных топлив, рост глобальной приземной температуры и следующим из важнейших параметров является чпп. ЧПП показывает количество углерода, ассимилированного зелеными растениями из атмосферы благодаря процессу фотосинтеза. Ассимилированный углерод используется для наращивания растениями биомассы, а также служит основой остальных цепей питания на планете.

Основной трудностью при рассмотрении ЧПП является значительная трудоемкость при определении его текущего значения для различных экосистем. Величину ЧПП возможно только оценить, и для этого разработано большое количество методов. Поэтому на сегодняшний день достаточно актуально понять, чем отличаются различные методы оценки ЧПП, насколько со-

падают получаемые значения, а если нет, то сравнение параметров, по которым производится оценка ЧПП, позволяют приблизиться к пониманию, на каком этапе возможны недочеты и ошибки, недо- и переоценки рассматриваемой величины.

В данной работе сравниваются две модели оценки ЧПП. Это оценка на основе космических данных и оценка, основанная на расчете биомассы нескольких наземных лесных экосистем. Оценки ЧПП, полученные по различным моделям, даны для одних и тех же территориальных участков. Это позволяет выделить специфические, присущие каждой модели важнейшие параметры, от которых зависит получаемая оценка

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования была взята территория на юге Красноярского края, предгорье Западного Саяна - места постоянных пробных площадей ИЛ СО РАН где наблюдения проводятся с 1968г. Эта территория характеризуется четко выраженной поясностью наблюдаемых лесных экосистем. Здесь на небольшой по площади территории с ростом высоты над уровнем моря мы можем наблюдать три различные экосистемы:

- черневой пояс, высота над уровнем моря 500 м - тип леса: кедровник крупнотравно-папоротниковый. В этом поясе корневые черновые кедровые леса (возраст порядка 260 лет) сохранились только лишь в отдельных урочищах. Ин-

тенсивные вырубки последних 50-ти лет привели к формированию на местах вырубок гетерогенных по составу насаждений - пихтовых, березовых, осиновых.

- горнотаежный, 1000м, - кедровник черничный
- субальпийский, 1500м - кедровник чернично-зеленомошный

Экосистемы последних двух поясов более стабильны, здесь произрастают хвойные: кедр и пихта, однако имеет место доминирование кедра (возраст порядка 220 лет). Наблюдения на пробных площадях проводятся в среднем с интервалом 10 лет.

В таблице 1 показано количество пробных площадей, их координаты и тип лесной экосистемы. Каждый участок является репрезентативным для своего типа леса. При наблюдении подсчитывается количество деревьев каждого вида на участке, упавшие мертвые деревья, измеряются их морфометрические показатели (диаметр ствола, высота, объем кроны и т.д.), эти данные являются основой расчета фитомассы, а затем и ЧПП. В начале определяется запас стволовой древесины в коре лесообразователей на рассматриваемой площади, а затем, используя известную плотность древесины, коры и переходные коэффициенты для коры, кроны и корней этой породы рассчитывается фитомасса древостоя. Переходные коэффициенты представляют собой отношение масс фракций дерева (кора, крона, корни) к массе ствола. Эти коэффициенты были взяты из статистического справочника согласно видовому составу древостоя, возрасту, климатическим и региональным условиям произрастания (1). Запас углерода рассчитывался как 0,5 значения фитомассы (2, 3).

Величина ЧПП определяет количество углерода, связанного растениями, отражая степень использования растениями потоков биосферного углерода. В данной работе для оценки ЧПП используются следующие два пути:

- **методы расчета ЧПП по наземным измерениям**, среди них – расчет фитомассы растений на рассматриваемой площади на основе морфометрических измерений (высота, диаметр ствола, объем кроны и т. д.) и по изменению фитомассы за определенный промежуток времени рассчитывается ЧПП.

$$NPP = \Delta W + \Delta d, \quad (1)$$

где ΔW – изменение биомассы за год; Δd – потери биомассы (отмирание, поедание животными, корневые выделения и др.).

- **по данным дистанционного спутникового зондирования**, когда расчет ЧПП базируется на данных спектральных спутниковых каналов и данных о подстилающей поверхности.

Чтобы оценить значение глобальной чистой первичной продукции по спутниковым данным существует множество расчетных моделей, но почти все они используют данные спутника NOAA/AVHRR и разработаны исключительно под них. Однако, на сегодняшний день, сканер AVHRR устарел и обладает малым количеством спектральных каналов пригодных для изучения растительности /4/. Поэтому для расчета NPP была разработана информационная система, основанная на модели GLO-PEM созданной для сканера нового поколения - MODIS/TERRA. Новый сканер имеет значительные преимущества по сравнению с предыдущим, это и большее количество спектральных каналов и более приемлемое для локальных исследований спектральное разрешение 500 м против 1 км у NOAA/AVHRR.

В данной работе использовались 8-ми дневные композитные снимки сканера MODIS спутника Terra, а именно продукты MOD09A1 и MOD11A2, с пространственным разрешением 500 м и 1 км соответственно, полученные с портала EOS Data Gateway. А также данные со спутника TOMS, пространственным разрешением 1 градус.

Расчет глобальной чистой первичной продукции проводится на основе двух моделей:

- VPM (Vegetation Photosynthesis Model) – модель разработанная Xiangming Xiao в 2003 году, используется для расчета валовой первичной продукции (GPP, Gross Primary Production)/4/;
- GLO-PEM (Global Production Efficiency Model) – модель разработанная С. Prince и С. Goward, в связи с недостаточным описанием из нее используется подход для расчета доли фотосинтетической активной радиации которую поглощает растительность и дыхания автотрофов (R_a)/5/.

Модель расчета GPP состоит из связанных компонентов, которые описывают процессы поглощения растительностью радиации, использование радиации, дыхание автотрофов и регулирование этих процессов факторами окружающей среды:

$$GPP = PAR FPAR E_g, \quad (2)$$

где PAR – фотосинтетическая активная радиация в интервале длин волн от 0,4 до 0,7 мкм; FPAR - доля фотосинтетической активной радиации которую поглощает растительность; E_g – эффективность использования радиации растительностью.

Чистая первичная продукция представляет собой GPP уменьшенное за счет дыхания растений. Фотосинтетическая активная радиация (PAR, Photosynthetically active radiation, 0,4-0,7 мкм) рассчитывается на основе данных со спут-

ника TOMS/6/.

Каждый лесной надел из таблицы 1 содержался в пикселе $500 \times 500 \text{ м}^2$, величина ЧПП рассчитывалась как среднее из 9 пикселей размером 3×3 , где пиксель с рассматриваемой территорией являлся центральным. Значение этого центрального пикселя всегда находилось в пределах доверительного интервала получаемого среднего значения.

Для оценки ЧПП в разных моделях используются разные физические величины, имеющие различное временное и пространственное распределение. Величина ЧПП, получаемая в обоих случаях различна по своему внутреннему содержанию. Например, если значение спутниковой ЧПП рассчитываются практически каждый день и из этих значений составляют недельные, декадные и т.д. композиты, то наземные измерения делаются гораздо реже, особенно, что касается лесных экосистем, и ЧПП рассчитывается за год, 5, 10 лет. Поэтому интересно проанализировать насколько совпадают полученные двойные оценки для одних и тех же территорий.

СРАВНЕНИЕ НАЗЕМНОЙ И ДИСТАНЦИОННОЙ МОДЕЛИ

На рисунке 1 представлена диаграмма, отражающая различные оценки ЧПП в лесных экосистемах трех высотно-климатических поясов. Оценка ЧПП по наземным данным показывает

тесную связь продуктивности лесов с продолжительностью вегетационного периода развития и роста растений в различных высотных поясах. Например, в субальпийском поясе по сравнению с черневым поясом этот период короче почти на два месяца, и соответственно здесь самая низкая величина ЧПП.

Основным отличием оценок ЧПП в горно-таежном и субальпийском поясах является более высокая продуктивность по спутниковым данным по сравнению с наземными. По нашему мнению, это объясняется использованием при расчете ЧПП вегетационного индекса NDVI, величина которого напрямую зависит от состояния листовых пластинок, хвои и наличия в них хлорофилла. В сумме, среднегодовое значение ЧПП за вегетационный период получается больше в горно-таежном и субальпийском поясах, чем при оценке ЧПП по наземным измерениям. В верхнем высотном поясе доминируют хвойные деревья, продуктивность которых не подвержена резкому уменьшению NDVI в конце лета, что приводит к завышенным значениям оценок по спутниковой информации.

ПЕРЕНОС НА РЕГИОНАЛЬНЫЙ МАСШТАБ

После корректировки спутниковых данных на 7 пробных площадях проведено сравнение их среднемесячных значений ЧПП со значениями

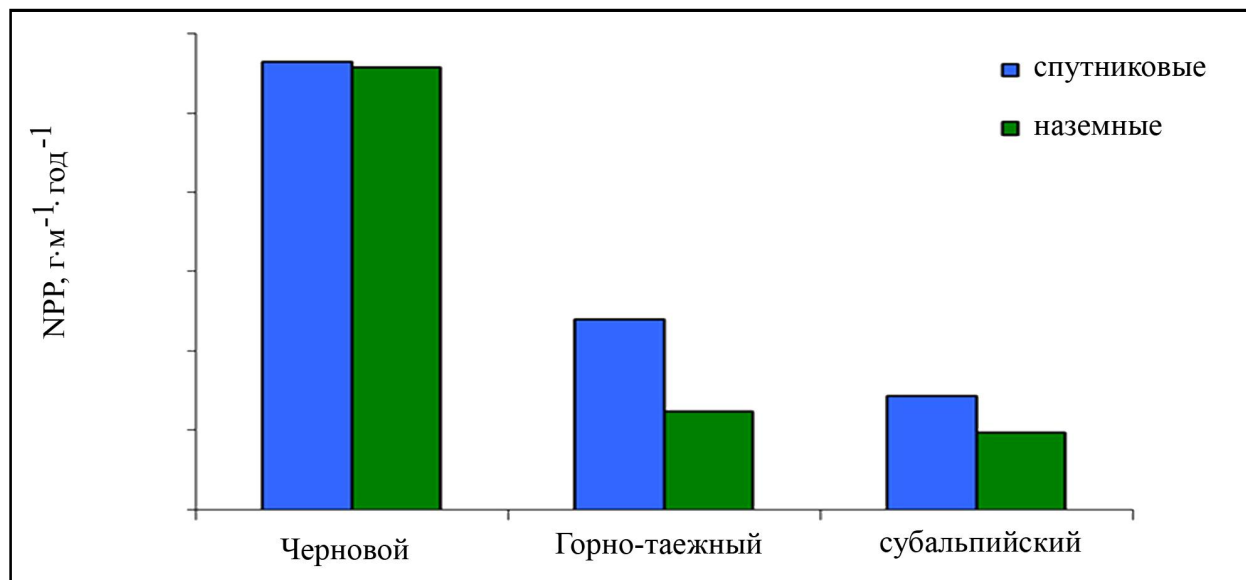


Рис.1. Сравнение значений ЧПП, по наземным и спутниковым данным.

ЧПП на всей территории юга Красноярского края. На рисунке 2 видно, что значения ЧПП рассчитанные на пробных площадях в летний пери-

од выше, чем суммарные по всей территории, в остальном графики повторяют друг друга с незначительными расхождениями.

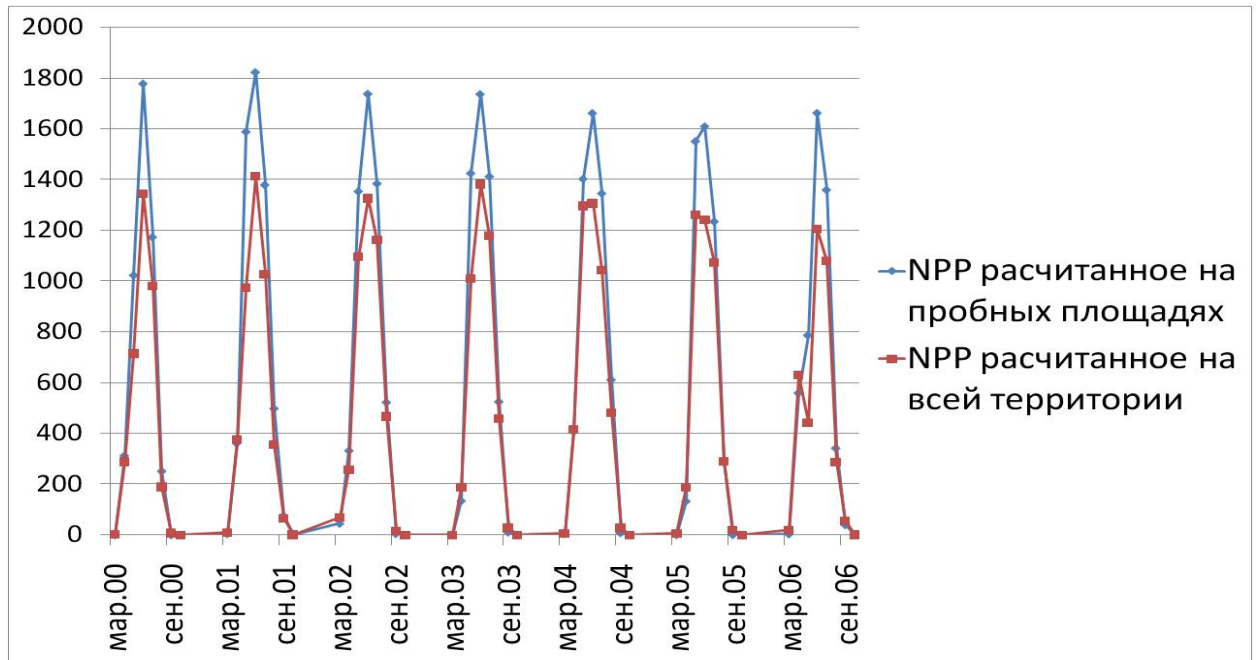


Рис.2. Графики среднемесячной динамики ЧПП.

Это вызвано тем, что пробные площади расположены в таежных районах края, тогда как в среднемесячные данные ЧПП по югу края попадают и более низкопродуктивные типы экосистем, например степи Хакасии. В связи с этим корректировку значений полученных спутниковыми методами необходимо проводить по различным типам растительности отдельно.

Таким образом:

- Модифицирована модель Glo-PEM для данных коэффициента отражения MODIS 500 метров.
- Показано что при расчете ЧПП по спутниковым модельным данным необходимо учитывать фенологические особенности разных видов лесной растительности.
- Показано соответствие ЧПП рассчитанного по спутниковым данным MODIS/Terra и подспутниковыми данными.
- Выявлено что корректировку значений полученных спутниковыми методами необходимо проводить с учетом типа растительности.

Работа поддержана интеграционным проектом СО РАН №50 и интеграционным проектом СО РАН №23.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Д. Стаканов, В.А. Алексеев, И.А. Коротков, Б.Л. Климушин. Методика определения запа-

сов фитомассы и углерода лесных сообществ / Углерод в экосистемах Сибири (под ред. В.А. Алексеева и Р.А. Бердси). Красноярск. 1994. 170 с.

2. Birdsey R.A. Carbon Storage and Accumulation in Unated States Forest Ecosystems. USDA Forest Service. General Technical Report WO-59. 1992/ 51p.
3. Kurz W.A. Apps M.J., Webb T.M. and McNamee P.J. The carbon budget of the Canadian forest sector: Phase 1. Information Report NOR-X-326. Forestry Canada, Northwest Region, Northern Forestry Centre. 1992. 93 p.
4. Xiangming Xiao, Satellite-based modeling of gross primary production in an evergreen needleleaf forest / Xiangming Xiao, David Hollinger, John Aber, Mike Goltz, Eric A. Davidson, Qingyuan Zhang, Berrien Moore III// Remote Sensing of Environment. 2004. №89. С. 519-534.
5. Scott J. Goetz, Satellite remote sensing of primary production: an improved production efficiency modeling approach/ Scott J. Goetz, Stephen D. Prince, Samuel N. Goward, Michelle M. Thawley, Jennifer Small// Ecological Modelling. 1999. №122. С. 239-255.
6. Bernard Goldberg, A model for determining the spectral quality of daylight on a horizontal surface at any geographical location/ Bernard Goldberg and William H. Klein// Solar Energy. 1980. №24.С. 351-357.

**NET PRIMARY PRODUCTION OF KRASNOYARSK REGION,
SPACE-BASED AND GROUND DATA (AS EXPERIMENTAL BASIS FOR
THE GLOBAL ENVIRONMENT MODELING)**

© 2009 A.A. Larko¹, A.P. Shevyrnogov¹, M.Ju. Chernetsky¹,
N.F. Ovchinnikova², Ju.D. Ivanova²

¹Institute of Biophysics SB RAS, Krasnoyarsk, Russia;
e-mail: lantar@inbox.ru; ap@ibp.ru; maxcher@rambler.ru

²Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia;
e-mail: nf_2004@mail.ru; lulja@yandex.ru

One of the parameters characterizing the global carbon cycle, is the net primary production (NPP), which shows the amount of carbon assimilated by green plants from the atmosphere. In this Paper compares two methods of evaluation of NPP for the same territorial areas. This estimate based on satellite data obtained by the model with a spatial resolution of 500 x 500 m², and evaluation based on morphometric measurements. And also a comparison of behavior values calculated to NPP sites, with values around the south of the Krasnoyarsk Territory.

Keywords: *Model Glo-PEM, the net primary production.*