Оценка потоков и баланс органического углерода в основных биомах России

Б.Н. Моисеев, к.с.-х.н., ВНИИЛМ МПР России
И.О. Алябина, к.б.н., Институт почвоведения МГУ-РАН

Оценка содержания и баланса углерода в различных природных средах Северной Евразии осуществлялась многими исследователями. Имеются работы, в которых рассчитанные авторами показатели биологической продуктивности, а также запасы органических форм углерода в почвах приводятся и в картографическом виде [1-5]. Наиболее подробной является составленная на основе Почвенной карты России масштаба 1:4 000 000 компьютерная Карта запасов углерода в почвах Российской Федерации [6,7].

Географический анализ продуктивности обширных территорий (в частности бывшего СССР) осуществлялся, как правило, в рамках целостных природных образований в соответствии с естественными границами. Например, для основных типов растительности (леса, луга, болота и т.д.), зональных и интразональных растительных формаций каждого термического пояса, для семейств экосистем. Органическое вещество почв охарактеризовано в границах почвенных типов и природно-сельскохозяйственных зон [8]; типов почв и почвенных комплексов с учетом типов почвообразующих пород [6].

Однако во всех отмеченных работах не затронуты проблемы баланса и скорости поступления потоков органического углерода в почву и его ежегодного депонирования. Кроме того, для расчетов дыхания почв и чистой первичной продукции, как правило, была использована база данных экспериментальных пробных площадей Н.И. Базилевич [1,2] с последующей прямой экстраполяцией результатов измерений на крупные регионы страны. В этом случае происходило неизбежное завышение суммарной первичной продукции, так как растительный покров весьма ограниченного числа пробных площадей не отражает реального состояния исследуемого типа растительного покрова на всей территории страны. Так, лесные пробные площади почти всегда закладывают в сомкнутых высокополнотных древостоях, тогда как в лесной растительный покров региона и страны входят вырубки, гари, редины, пустыри, прогалины, просеки, дороги и, разумеется, значительная часть низкополнотных древостоев (древостои с относительной полнотой 0,5 и ниже занимают 46% площади лесов).

На современном этапе разработки Рамочной Конвенции ООН об изменении климата (IPCC) наиболее остро выступает проблема методики расчетов стока и углеродного баланса в растительных экосистемах, так как от этого во многом зависит объективная и точная оценка полного углеродного бюджета страны и проведение национальной политики в переговорном процессе по Киотскому протоколу IPCC [9–11].

В данной работе была поставлена задача – оценить количество органического углерода, ежегодно поступающего в почвы с растительными остатками, и его баланс в основных биомах России на основе данных Государственного учета лесного фонда 2003 г. (ГУЛФ-2003) – для лесов и Национального аэрокосмического агентства США (NASA) – для тундры, болот, лугов и прочих сельскохозяйственных угодий [12]. Расчеты проводили по 1,8 тыс. лесхозов и 3 тыс. трапеций географической сети 1x1 градус (примерно 55x110 км). Такая масштабная, субглобальная оценка потоков органического углерода и его годичного баланса носит поисковый, предварительный характер.

Материалы и методы

В работе приняты следующие термины и определения:

биом – совокупность экосистем локального и регионального уровня, характеризующаяся определенным типом растительного покрова и условий среды. Сходные биомы разных регионов (зон, континентов) объединяются в типы биомов (например леса, луга, болота и проч.);

фитомасса – запас живого растительного органического вещества в надземных и подземных блоках экосистем (Ph);

мортмасса – запас мертвого растительного органического вещества, включающий сухостой, валеж, подстилку, отмершие подземные органы (M);

чистая первичная продукция – ежегодно создаваемое растительное органическое вещество в виде хвои, листьев, генеративных органов, прироста стволов, ветвей, корней деревьев, кустарников, трав, мхов и лишайников (Net Primary Production – NPP);

годовой опад и отпад фитомассы – ежегодно отмирающая часть фитомассы в виде опада листьев/хвои, отпада деревьев и корней (Fall);

чистый прирост фитомассы – годовое изменение запаса фитомассы (dPh);

чистый прирост мортмассы – годовое изменение запаса мортмассы (dM);

чистый прирост экосистемы – годовое изменение запаса живой и мертвой фитомассы экосистемы (Net Ecosystem Production –NEP);

дыхание почвы (гетеротрофное) – эмиссия CO_2 почвой в процессе деструкции мортмассы микроорганизмами и минерализации гумуса (Rsoil).

В экологии скорость ежегодного депонирования биомассы, или чистая продукция экосистем (NEP), определяется как разность между чистой первичной продукцией растений (NPP) и гетеротрофным дыханием (R_h), т.е. дыханием/питанием нефотосинтезирующих организмов, населяющих экосистему, включая почвенные микроорганизмы. Прямые измерения величин NPP и объемов гетеротрофного дыхания для больших территорий практически невозможны. Обычно их удельные значения получают на экспериментальных площадках или рассчитывают по некоторым моделям, а полученные результаты распространяют затем на сравнительно однородные климатические зоны, подзоны, округа и т.п. [1,13–16]. В реальных измерениях на лесных пробных площадях приближенные значения NEP складываются из суммы годовых приростов запасов живой и мертвой фитомассы (dPh+dM), так как точно измерить всю текущую NEP (годовую) не представляется возможным, даже на пробных площадях. Дело в том, что текущая NEP, которая состоит только из живой фитомассы, компенсирует и текущий годовой отпад деревьев и опад листьев/хвои (Fall), которые сразу же вовлекаются в биотическое и абиотическое окисление (гетеротрофное дыхание – R_h). С точки зрения термодинамики необратимых процессов R_h – это тепловая (и структурная) энтропия экосистемы, измерить которую пока невозможно. Можно только получить ее приближенные оценки через другие показатели состояния экосистемы. В формализованном виде баланс основных потоков фитомассы в экосистеме можно записать следующим образом:

$$NEP = NPP - R_h - Leach \approx NPP - Fall + dM \approx dPh + dM, \quad (1)$$

где NEP – чистая экосистемная продукция (текущий прирост фитомассы);
NPP – чистая первичная продукция экосистемы (биома);
R_h – гетеротрофное дыхание (биотическое и абиотическое окисление мортмассы);
Leach – выщелачивание органических соединений с суммарным стоком воды (для простоты расчетов обычно принимается равным нулю, так как в годовой сток вовлекается и органическая продукция прошлых лет);
Fall – древесный и корневой отпад, опад стеблей, листьев и хвои (Fall=R_h+dM; в климаксе Fall=NPP=R_h);
dPh – чистый прирост запаса живой фитомассы (в климаксе равен нулю);
dM – чистый прирост запаса мертвой фитомассы (в климаксе равен нулю).

Приведенное балансовое уравнение (1) справедливо для всех растительных экосистем. Однако в данной работе расчеты NEP для лесов и NEP для биомов тундры, болот, лугов и других сельскохозяйственных угодий осуществлялись по разным методикам.

Лесные земли *(в состав биома входят все лесные экосистемы, кустарники лесного фонда, вырубки, редины, прогалины).* В качестве методической основы расчетов NEP лесов мы использовали данные по общему среднему (периодическому) приросту запаса стволовой древесины (Net Annual Increment –NAI) на уровне лесхозов, а также конверсионные коэффициенты (отношения), которые переводят NAI в прирост запаса углерода всей живой и мертвой фитомассы, включая корни, ветви, листья/хвою, сухостой, валеж и лесную подстилку.

По всем лесхозам МПР России в разрезе основных лесообразующих пород и возраст-

ных групп расчеты проводили по следующей формуле:

$$NEP(C) = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} NAI * K_{conv}, \quad (2)$$

где NEP(C) – чистая экосистемная продукция в границах лесхоза, выраженная по массе углерода, т С/год;
n – количество древесных и кустарниковых пород в лесхозе;
m – количество возрастных групп;
NAI – средний периодический прирост запаса древостоев i-породы в определенной возрастной j-группе, $м^3$/год;
K_{conv} – интегральное конверсионное отношение, т С/$м^3$.

Средний прирост класса (группы) возраста породы – NAI определяли путем деления запаса древостоев на возрастной диапазон класса или группы [17].

Интегральное конверсионное отношение было получено на основе собственных экспериментальных данных и литературных источников [1, 2, 16, 18]. Оно конвертирует надземный прирост запаса древесины (в $м^3$/га/год) в суммарный прирост живой и мертвой фитомассы – NEP(C) в тоннах С/га/год и пересчитанной по углероду с коэффициентом, равным 0,5 (конверсионное отношение учитывает и прирост подземной фитомассы).

Следует отметить, что в Проекте рекомендаций IPCC [19] средний ежегодный прирост биомассы (G_w) авторы предлагают рассчитывать аналогичным образом. В том же Проекте есть предложение рассчитывать ежегодные изменения запасов как надпочвенной (DB), так и всей внутрипочвенной (DC) биомассы, включая и гумус. Однако известно, что заметные изменения этих пулов происходят за многие десятилетия и столетия; ошибка измерений пулов значительно больше (до 5 раз), чем сами значения ежегодных изменений. Более того, для расчетов стока и годового баланса углерода эти параметры не являются необходимыми. К сожалению, при инвентаризации стоков расчет прироста биомассы осуществляется сейчас именно таким способом [23], не отражающим весь потенциал лесов России.

Расчет баланса углерода в лесных экосистемах проводили на уровне территорий субъектов Федерации следующим образом:

$$B(C) = NEP(C) - (Cut + Burn + Pest + Waste + Fuel), \quad (3)$$

где B(C) – баланс углерода в лесах региона (субъекта Федерации);
NEP(C)– суммарная чистая продукция углерода лесных экосистем в регионе;
Cut – вывоз (эмиссия) углерода древесины, заготовленной в результате рубок главного пользования, рубок ухода и прочих рубок;
Burn – эмиссия углерода древесины и подстилки, сгоревших во время лесных пожаров;
Pest – эмиссия углерода фитомассы в очагах вредителей и болезней леса;
Waste – эмиссия углерода при сжигании (и окислении) древесных отходов и потерь на лесосеках, лесовозных дорогах, верхних и нижних складах;
Fuel – эмиссия углерода при сжигании отопительных дров, заготовленных в лесу сельским населением самостоятельно.

Объем вывоза древесины, заготовленной в результате рубок главного пользования и рубок ухода, площади пожаров, очагов вредителей и болезней леса приняли по ежегодным отчетным данным МПР России и Госкомстата России.

Тундра, болота, луга и другие сельскохозяйственные угодья. Расчеты NPP лугов, тундры, болот и прочих сельскохозяйственных угодий проводили на основе спутниковых данных NASA. Оценки дистанционным методом чистой первичной продукции экосистем обычно осуществляют по косвенному, не прямому показателю продуктивности – площади листовой поверхности – LAI, корреляционно связанному с вегетационным индексом – NDVI (нормализованным разностным вегетационным индексом). Однако перерасчет оценок LAI до уровня NPP древостоев встречает значительные методические трудности. С другой стороны, распространение прямых наземных оценок NPP на большие территории лугов растительного покрова приводит к существенному завышению суммарных результатов. В данной работе проведены прямые расчеты брутто-продукции фотосинтеза и NPP для нелесных биомов страны с использованием спутниковых данных NASA [12] по поглощенной растительным покровом ФАР (фотосинтетически активной радиации – PAR).

В основу методики модельных расчетов биологической продуктивности растительных экосистем были положены известные соотношения квантов ФАР и молекул CO_2 (обычно 8–12 квантов на одну молекулу CO_2), поглощенных зеленой растительной клеткой в процессе фотосинтеза [20, 21]. Оценки NPP получили через брутто-ассимиляцию углекислого газа Ass(CO_2), рассчитанную по поглощению ФАР фотосинтезирующим (зеленым) растительным покровом. Исходные материалы по приходу суммарной ФАР к верхней границе растительного покрова и доли ее поглощения листовой (зеленой) массой были заимствованы из глобальной базы спутниковых данных NASA, открытой для свободного пользования, с пространственным разрешением трапеций 1x1 градус (≈ 55x110 км). На всю территорию России было выделено более 3000 трапеций, удельные данные по которым были пересчитаны на площадь нелесных биомов в каждой трапеции сети.

Коэффициенты поглощения ФАР – FPAR были получены сотрудниками NASA как фракции ФАР, поглощенные зеленой частью растительного покрова всех ярусов, и рассчитаны следующим образом:

$$FPAR = 0{,}95(SR - SR02) / (SR98 - SR02), \quad (4)$$

где SR = (1+NDVI)/(1– NDVI);

NDVI – нормализованный разностный вегетационный индекс, рассчитанный по данным каналов 1-го и 2-го спутникового радиометра AVHRR;

SR02 – рассчитан для NDVI земель, лишенных растительности (пустыни);
SR98 – рассчитан для NDVI земель, полностью покрытых растительным покровом.

Площадь 1 га каждой трапеции сети 1x1 градус рассматривалась в качестве средней удельной единицы накопления фитомассы, для которой были выполнены модельные оценки чистой первичной продукции в единицах массы углерода:

$$NPP(C) = 0{,}273 \cdot Ass(co_2) \cdot K_A, \quad (5)$$

где NPP(C) – чистая первичная продукция углерода, т С/га·год;
0,273 – коэффициент пересчета массы CO_2 в массу углерода;
$Ass(co_2)$ – ассимилированный за год поток углекислого газа, т CO_2/гагод (в энергетических единицах численно равный первичной брутто-продукции – BPP);
K_A – коэффициент, учитывающий эмиссию CO_2 в процессе автотрофного дыхания (т.е. дыхания фотосинтезирующих растений).

Оценка массы CO_2, поглощенной в процессе фотосинтеза – $Ass(co_2)$, осуществлена по следующей методике. Цикличный процесс фотосинтеза (без дыхания фотосинтезирующей клетки) условно рассматривается за очень малый промежуток времени как квазиравновесное состояние микросистемы «газовой смеси» фотонов (квантов солнечного излучения в области ФАР) и молекул CO_2, которое подчиняется распределению Больцмана для внутреннего фотоэффекта при нерезонансном взаимодействии фотонов с веществом и может быть выражено соотношением:

$$[n(co_2)/n(h\nu)]^N = \exp(-e/kT), \quad (6)$$

где $n(co_2)$ – количество ассимилированных молекул CO_2 в процессе фотосинтеза;
$n(h\nu)$ – количество поглощенных фотонов/квантов солнечного света, энергия которых пошла непосредственно на ассимиляцию молекул CO_2 при фотосинтезе (в средних условиях n(hn) = 10 квантов на одну молекулу CO_2. Таким образом, средний квантовый нетто-выход равен 10 фотонам на 1 молекулу CO_2);
N – квантовый брутто-выход, т.е. общее количество фотонов, участвующих в фотосинтезе, а также пошедших на нагрев микросистемы (если $n(co_2)=1$, $n(h\nu)=10$ и T=290°K, то N=87);
e – энергия, необходимая для ассимиляции 1 молекулы CO_2 и ее восстановления до уровня гексозы ($8{,}0 \cdot 10^{-19}$ Дж);
k – постоянная Больцмана ($1{,}38 \cdot 10^{-23}$Дж/К);
T – абсолютная температура системы, °К.

После логарифмирования уравнения (6), его решения относительно $n(co_2)$ и некоторых очевидных преобразований микросистемы в макросистему получили уравнение, на основе которого была составлена расчетная модель (7). Зная суммарное количество ФАР, поглощенной фотосинтезирующим (зеленым) растительным пологом за световой день (данные NASA), рассчитали массу углекислого газа, связанную в процессе фотосинтеза (или брутто-ассимиляцию):

$$Ass(co_2) = \frac{-FPAR \cdot \sum PAR \cdot m \cdot RT \cdot \ln \varphi}{e \cdot h\nu \cdot N_A}, \quad (7)$$

где $Ass(co_2)$ – масса углекислого газа, поглощенная растительным покровом за световой день (в энергетических затратах этот показатель численно равен брутто-продукции – BPP), г/га;
FPAR – коэффициент поглощения ФАР зеленым растительным покровом (данные NASA);
$\sum PAR$ – сумма ФАР, пришедшей к верхней границе растительного покрова за световой день, Дж/га·день (данные NASA);
m – масса 1 моля CO_2 (44 г);
R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/К·моль);
T – средняя температура воздуха, °К;
φ – квантовый нетто-расход ($\varphi = n(co_2)/n(h\nu)$ принят в размере 1/10);
e – затраты лучистой энергии ФАР на ассимиляцию 1-го моля CO_2, или количество энергии, необходимое для восстановления 1-го моля CO_2 до уровня гексозы (стандартная энтальпия гексозы – $4{,}8 \cdot 10^5$ Дж/моль);
$h\nu$ – средняя энергия 1 фотона в красной области света ($\approx 3 \cdot 10^{-19}$ Дж);
N_A – постоянная Авогадро ($6{,}02 \cdot 10^{23}$ 1/моль).

Отношение $RT/(hn \cdot N_A)$ или kT/hn в уравнении (7) есть фундаментальное выражение в квантовой физике, определяющее энергетическую эффективность многих физических процессов, в том числе и фотосинтеза. В свою очередь квантовый нетто-расход – φ определяет эффективность запасания энергии в процессе дыхания фотосинтезирующей клетки. В стандартных условиях это запасание происходит в виде 38 молекул АТФ (аденозинтрифосфатов) на одну молекулу гексозы, энергия которых расходуется на создание чистой первичной продукции – NPP (крахмал, целлюлозу и пр.). Из приведенных выше формул и имеющихся экспериментальных данных было найдено, что в энергетических единицах $1/\ln\varphi = -RT \cdot N(h\nu) / e N_A \approx 38$ АТФ / 6e ≈ NPP/ $Ass(co_2)$. То есть, принимая $\varphi = 1/10$ (понятно, что $1/-\ln\varphi = 1/2{,}30 = 0{,}43$), в средних условиях эффективность запасания энергии в виде NPP составит 43% от $Ass(co_2)$. Используя это соотношение, был принят коэффициент автотрофного дыхания K_A в уравнении (5). Он составил по массе $K_A = 0{,}35$, соответственно энергетическому эквиваленту $K_A = 0{,}43$ в средних климатических условиях [20,21].

Оценка возможных изменений параметров уравнения (7), служившего моделью для расчетов прогнозных оценок первичной продукции углерода, была сделана на основе литературных данных [10, 14, 22, 23]. В качестве лимитирующих экологических параметров модели использовали отношение суммарного испарения к сумме осадков – E/P и отношение входных потоков азота к выходным – K_N. Исходные данные на всю территорию России в квадратах сети 150x150 км были получены в ходе работ по оценке критических нагрузок азота на леса в рамках программы Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния [22].

В своих дальнейших расчетах мы полагали, что если $K_N < 1$, значит исследуемая территория лесов испытывает недостаток азота, а увеличение продуктивности древостоев в связи с потеплением климата маловероятно.

Деление территории России на лесорастительные зоны и подзоны осуществлялось по Курнаеву, с некоторыми изменениями границ северной и средней подзон тайги Восточной Сибири.

Результаты и их обсуждение

Полученные расчетные значения чистого прироста углерода NEP(C) в лесах России повторяют временную и пространственную динамику среднего прироста запасов древесины, величина которого увеличилась с 810 до 980 млн. м^3/год за последние 50 лет. Расчеты по материалам ГУЛФ на 1 января 2003 г. показали, что наибольший суммарный прирост С сосредоточен в лесах средней и южной тайги (более 320 МтС/год) и в сумме NEP составляет 602 МтС/год, в том числе приблизительно 200 МтС/год – это прирост, которым компенсируется ежегодный отпад и опад мертвой фитомассы. Наиболее высокие удельные приросты углерода (3...6 тС/га·год) характерны для молодых и продуктивных лесов Европейской части России (рис.1). В целом выявлен закономерный рост удельных значений NEP с севера на юг, что обусловлено влиянием климатических факторов.

В табл. 1 приведены два ряда конверсионных отношений. Дело в том, что по учету лесного фонда NAI рассчитывается только для земель, покрытых лесной (древесной) растительностью (776 млн. га), т.е. в этом случае не учитывается прирост кустарников, редин, первичная продукция вырубок и прочих территорий, входящих в категорию лесных земель. Умножив сумму NAI на среднее значение Kconv1=0,53 тС/м^3, получим NEP(C) = 519 МтС/год, т.е. это NEP(C) на покрытых лесной растительностью землях. Для всех лесных земель страны (883 млн. га) суммарная NEP(C) = 602 МтС/год, при среднем значении

Рис.1. Плотность чистой продукции NEP(C) в лесных экосистемах России, тС/га*год

Таблица 1

Средний периодический прирост запаса древесины (NAI), конверсионные коэффициенты и оценки NEP(C) на лесных землях России

Лесорастительные зоны и подзоны	*Лесные земли,*			*NAI, млн. м^3/год*	*Kconv1, тС/м^3*	*Kconv2, тС/м^3*	*NEP(C) МтС/год*
	млн. га	*%*	*в том числе покрытые лесной растительностью, млн. га*				
Редкостойные леса северной тайги	157	17,8	99	29	1,40	1,76	51
Северная тайга	159	18,1	140	79	0,86	0,95	75
Средняя тайга	272	30,9	257	293	0,53	0,57	167
Южная тайга	194	22,0	184	340	0,44	0,47	161
Смешанные и лиственные леса	82	9,3	79	196	0,48	0,50	98
Лесостепь	16	1,8	15	38	0,57	0,61	23
Степь и полупустыня	2	0,2	1,5	3	0,47	0,60	1,8
ИТОГО:	883	100,0	776	979	0,53	0,61	602

Kconv2 = 0,61 тС/м^3. Высокие значения конверсионных коэффициентов в лесах северной тайги и лесотундры свидетельствуют о значительном накоплении в северных широтах мертвой биомассы в сухостое, валеже и подстилке.

Расчеты удельных значений NPP лугов, тундры, болот и прочих сельскохозяйственных угодий осуществлялись по каждой трапеции сети 1x1 градус. Основные исходные параметры и результаты расчетов Ass(CO_2) по модели (7) и оценок NPP приведены в табл.2. Близкие результаты по значениям NPP России были получены сотрудниками Международного института прикладного системного анализа (IIASA) [7].

Используя данные и картосхему по дыханию почв [24], получили значения чистой экосистемной продукции – NEP (NEP≈NPP–Rsoil). Интересно, что суммарная NEP лесов, рассчитанная по данным NAI, очень близка к значениям NEP, полученной по модели (7), однако пространственное размещение их удельных значений в долготном направлении существенно различается.

В результате проведенных расчетов была составлена картосхема удельных значений чистого прироста мортмассы, т.е. количества органического углерода, ежегодно депонируемого на поверхности почв и в почвах основных биомов России (в трапециях сети 1x1 градус) [5].

Наибольшие значения (800…1400 кгС/га в год) депонирования С сосредоточены в горных лесных районах Алтая, Западных Саян и Южного Урала, а также в лесо-луго-тундровых биомах Камчатки. Наименьшие значения, как уже отмечалось выше, распространены в тундровой зоне. В целом наибольший вклад в долговременное депонирование углерода привносят лесные биомы, однако удельные значения dM выше у луговых биомов. Следует отметить, что полученные объемы долговременного депонирования С отражают не только прирост органического вещества почв, но и прирост мортмассы в сухостое, древесном валеже или ветоши. В целом суммарный поток в почву (Fall) органического углерода примерно равен 2200 МтС/год. С учетом ежегодного накопления мортмассы (dM ≈ 400 МтС/год), эта цифра хорошо согласуется с первыми оценками гетеротрофного дыхания почв (1840 МтС/год), ранее опубликованными В.Н. Кудеяровым [24].

На основе балансовых расчетов были определены для выделенных биомов потоки органического углерода по сетке 1x1 градус на всю продуцирующую территорию России. Из табл. 3 видно, что в целом продукция органического вещества (NPP) превышает его расход на гетеротрофное дыхание почвы на 940 МтС/год. То есть для всей территории страны естественный углеродный баланс положительный (рис. 2).

При расчетах на уровне регионов выявлены обширные территории с отрицательным значением экосистемного углеродного баланса. Большая их часть расположена в аридной зоне ЕТР, где суммарные потери фитомассы перекрывают общий прирост (Ставропольский край, Калмыкия, Волгоградская, Ростовская и Астраханская области). В этих регионах необходимо проводить интенсивные мероприятия по защите почв и растительности, возможно с привлечением финансовых ресурсов промышленных субъектов Российской Федерации.

Отрицательные величины годового изменения запаса живой и мертвой фитомассы экосистем для части регионов страны объясняются целым рядом причин. Во-первых, потеря некоторой доли органического углерода экосистемами возможна в ходе перестройки их функционирования, например в тундрах в процессе климатических изменений, а также в связи с их промышленным освоением. В литературе имеются данные о возможной трансформации углеродного баланса тундр из накопителя С в источник углекислого газа [25].

Другой причиной отрицательных значений NEP может быть деградация почв, особенно характерная для южных регионов страны. Вероятно, в ходе деградации в деструкцию (минерализацию) вовлекаются запасы гумуса прошлых лет или веков, превышающие ежегодное поступление фитомассы опада.

Еще одной причиной подобных результатов могут служить неточности исходных данных. В частности, очень приблизительны, согласно указанию авторов, оценки дыхания почв [4, 24].

Таблица 2

Обобщенные исходные параметры и результаты модельных расчетов Ass(CO_2) и NPP всего растительного покрова России

Зоны и подзоны	*Площадь, млн. га**	*%*	*Приход ФАР Дж/с·м^2*	*Коэффициент поглощения FPAR*	*Ass(CO_2), тС/га·год*	*Удельная NPP(C), тС/га·год*	*Всего NPP(C), МтС/год*
Тундра	270	17	123,1	0,406	1,0	0,4	110
Северная тайга, лесотундра	400	25	125,7	0,459	3,5	1,4	560
Средняя тайга	340	22	131,4	0,519	5,7	2,0	680
Южная тайга	280	17	138,2	0,596	6,6	2,3	640
Лиственные и смешанные леса	170	10	140,4	0,576	6,9	2,4	400
Лесостепь	100	6	151,9	0,476	9,3	2,8	290
Степь и полупустыня	40	3	153,8	0,370	6,0	1,8	80
ВСЕГО:	1600	100,0					2750

*Приблизительные оценки.

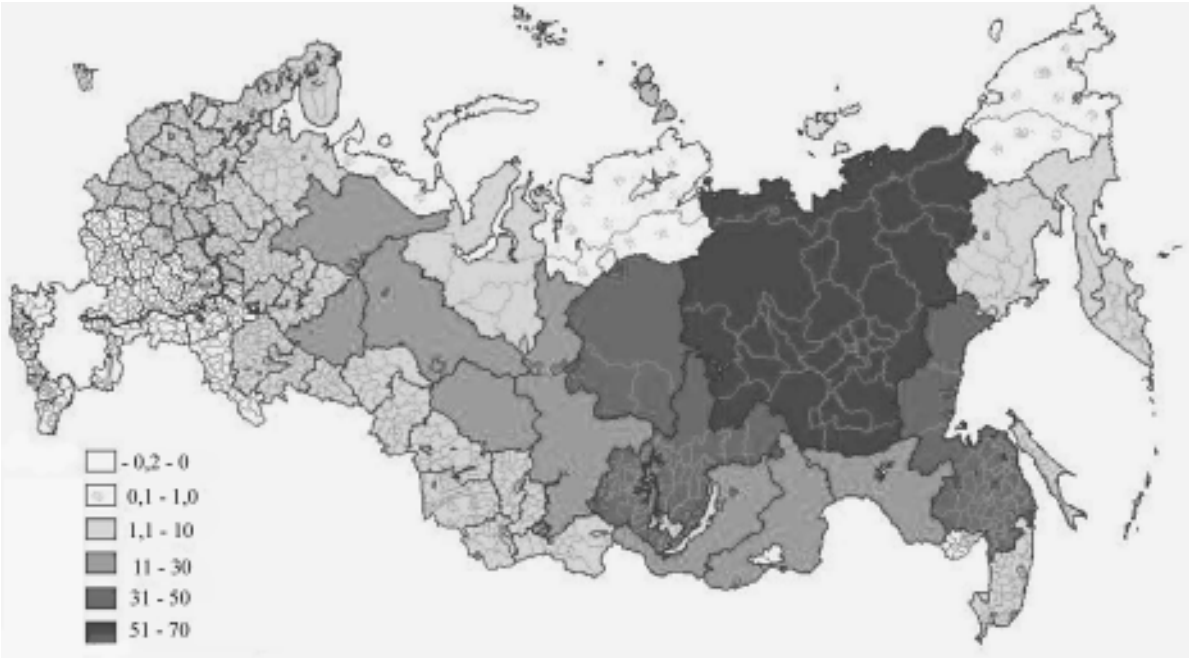

Рис.2. Годовой углеродный баланс в основных биомах субъектов Федерации, МтС/год

Таблица 3

Годовой углеродный баланс в основных биомах России

Биомы	*Площадь, млн. га*	*NPP*		*Дыхание почвы, МтС*	*NEP*		*Потери, эмиссия, МтС*	*Углеродный баланс, МтС*
		МтС	*тС/га*		*МтС*	*тС/га*		
Леса	883*	1800	2,04	1200	600	0,68	100	500
Луга, с/х угодья	221**	610	2,76	340	270	1,22	140	130
Болота	154**	180	1,17	140	40	0,26	4	36
Тундра, кустарники	343***	160	0,47	130	30	0,09	3	27
ВСЕГО:	1600	2750	1,72	1810	940	0,60	247	693

*По данным ГУЛФ-2003.
**По данным Госкомстата России на 2001 г.
***Приблизительная оценка.

По нашим расчетам, эта оценка существенно завышена для некоторых районов страны, особенно для регионов с преобладанием болотных почв.

В ходе потепления климата и в результате воздействия ограничивающих факторов (недостатка азотного питания и избыточного увлажнения почв) значительного увеличения площади лесной зоны и прироста NEP ожидать не следует. Так, при использовании базового сценария отклика лесов на потепление прогнозные расчеты показывают лишь небольшое увеличение прироста в подзоне средней тайги. Более существенный прирост С возможен в лесах подзоны южной тайги, но только за счет увеличения площади этой подзоны в северном направлении и только в тех местах, где нет воздействия лимитирующих факторов. В целом вероятное увеличение прироста углерода через 10–15 лет составит около 60 МтС в год [22].

Заключение

На основе прогнозных расчетов и картографирования зональных градиентов углеродного баланса можно предположить, что с потеплением климата неизбежно возрастет автотрофное и гетеротрофное дыхание биотических компонентов экосистем, что приведет, в свою очередь, к частичному сокращению дополнительного прироста фитомассы. В аридной и лесостепной зонах с ростом температуры ожидается увеличение дефицита влаги, а в таежной зоне – увеличение облачности и количества осадков. Кроме того, известно, что

в бореальной зоне дефицит азота и избыточное увлажнение почвы являются основными лимитирующими факторами продуктивности. Все эти обстоятельства будут, вероятно, способствовать стабилизации удельного прироста углерода в полном соответствии с принципом гомеостаза экологических систем глобального уровня. По нашим расчетам, к 2010 г. углеродный баланс в растительных экосистемах России может достичь 750 МтС/год, в том числе 540 МтС/год в лесных экосистемах.

Методические ошибки и соответствующее занижение оценок стока С в лесах России, что прослеживается в работах ведущих наших институтов, возглавляющих лесную науку [3, 13], могут привести к ошибочной позиции на переговорном процессе по Киотскому протоколу [23]. Методический подход, принятый в ЦЭПЛ и МИЛ РАН, учитывает только видимый прирост, т.е. изменение запаса фитомассы, и не учитывает реальный прирост живой фитомассы, который компенсирует величину опада и отпада, поступающих в детрит (мортмассу). А эта величина достигает 30% от суммарной NEP (средняя доля отпада стволов также составляет около 30% от текущего прироста стволовой древесины) [1, 26]. Кроме того, в этом подходе прирост фитомассы в спелых и перестойных древостоях принят равным нулю. Авторы не учитывают того, что категория спелых и перестойных лесов установлена лесоустройством по возрасту технической спелости древостоев, который не отражает реальный биологический (фитоценотический) возраст спелости лесной экосистемы в целом (климакс). Так, для древостоев лиственницы Сибири и Дальнего Востока возраст технической спелости установлен на уровне 120 лет, т.е. все древостои старше 120 лет (их в стране около 184 млн.га) попадают в категорию спелых и перестойных. Известно, однако, что климакс в экосистемах лиственницы сибирской наступает в сукцессионном возрасте 300–500 лет. В возрасте 120–200 лет только спелые и перестойные лиственничники Сибири продуцируют до 100 млн.тС/год. Таким образом, величина депонирования углерода, приведенная авторами в размере 262 млн.тС/год, по нашим расчетам, занижена в 2 раза.

МПР России имеет в своем распоряжении широкий набор вариантов смягчения последствий глобального потепления климата. Только в лесном хозяйстве за счет надлежащей организации лесохозяйственных мероприятий имеются значительные потенциальные возможности:

- искусственного лесоразведения и содействия естественному возобновлению;
- компенсации процессов выделения углерода путем регулирования объема рубки леса;
- улучшения охраны и защиты лесов от пожаров и негативного воздействия насекомых;
- совершенствования технологий лесоэксплуатации, обработки древесины, в том числе мелкотоварной, рационального использования продукции и утилизации отходов;
- реконструкции непродуктивных насаждений, а также облесения обширных территорий пустующих и истощенных сельскохозяйственных земель.

Однако значительного увеличения секвестра CO_2 из атмосферы только путем создания лесных культур достичь, по-видимому, трудно. Так, за 10 лет с 1991 по 2000 г. в стране создано около 4 млн. га лесных культур. Их средняя сохранность – не более 50%. При среднем приросте запаса молодняков 1 тС/га в год, суммарный прирост составит 2 МтС или всего 0,2 МтС в год. Как видно, создание «карбоновых лесов» не сыграет заметной роли в общем углеродном балансе страны. Только всем комплексом лесохозяйственных и противоэрозионных мероприятий можно достичь заметных результатов.

Литература

1. Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. – М.: Наука, 1993.
2. Базилевич Н.И., Дроздов А.В., Злотин Р.И. Географические особенности продукционных и деструкционных процессов в ландшафтах Северной Евразии // Известия РАН. Серия геогр. 1993. №4. С.5–21.
3. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Пряжников А.А., Замолодчиков Д.Г. Оценка запасов годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. 1993. №5. С.3–10.
4. Кудеяров В.Н., Хакимов Ф.И., Деева Н.Ф., Ильина А.А., Кузнецова Т.В., Тимченко А.В. Оценка дыхания почв России // Почвоведение. 1995. №1. С.33–42.
5. Моисеев Б.Н., Алябина И.О. Оценка и картографирование потоков органического углерода, поступающего в почвы основных биомов России // Почвоведение. 2002. №6.
6. Рожков В.А., Вагнер В.В., Когут Б.М., Конюшков Д.Е., Шеремет Б.В. Запасы органических и минеральных форм углерода в почвах России // Углерод в биогеоценозах: Докл. на XV ежегод. чтениях памяти акад. В.Н.Сукачева. – М.,1997. С.5–58.
7. Full Carbon Account for Russia: Interim Report / IIASA. 2000. IR-00-021.
8. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. – М.: Наука, 1996.
9. Бедрицкий А.И. Национальные интересы: предотвратить опасные изменения климата // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2001. №7.
10. Climate Change. Impacts Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. – WGII, Cambridge University Press, 1995.
11. Оценки экологических и социально-экономических последствий изменения климата / Под ред. Ю.А.Израэля, М.Хашимото, У.Дж.Мак Г.Тегарта; МГЭИК. – С.-Пб., 1992.
12. Sellers P.J. et al. A global 1 by 1 degree NDVI data set for climate studies. Part 2: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data // International Jornal of Remote Sensing. 1994. 15(17). P. 3519–3545.

13. Исаев А.С., Коровин Г.Н., Сухих В.И., Титов С.П., Уткин А.И., Голуб А.А., Замолодчиков Д.Г., Пряжников А.А. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России: Аналитический обзор. – М.: Центр экологической политики России, 1995.

14. Кокорин А.О., Назаров И.М. Оценка влияния потепления климата и роста потока фотосинтетически активной радиации на бореальные леса // Метеорология и гидрология. 1994. №5. С.44–54.

15. Моисеев Б.Н., Алферов А.М., Страхов В.В. Об оценке запаса и прироста углерода в лесах России // Лесное хозяйство. 2000. №4. С.18–20.

16. Углерод в экосистемах лесов и болот России / Под ред. Алексеева В.А., Бердси Р.А. – Красноярск: Изд-во СО РАН, 1994.

17. Инструкция о порядке ведения государственного учета лесного фонда. – М., ВНИИЦлесресурс, 1997.

18. Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И. Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений // Лесоведение. 2000. №6. С.54–63.

19. Draft IPCC Good Practice Guidance for LULUCF (Task 1), 2003.

20. Белл Л.Н. Энергетика фотосинтезирующей растительной клетки. – М.: Наука, 1980.

21. Эдвардс Дж., Уокер Д. Фотосинтез С3 и С4 растений: механизмы и регуляция / Пер. с англ. – М.: Мир, 1986.

22. Моисеев Б.Н., Страхов В.В. Расчеты возможной реакции лесов России на глобальное потепление климата // Лесное хозяйство. 2002. № 4. С.5–8.

23. Третье национальное сообщение Российской Федерации / Межвед. ком. РФ по проблемам изменения климата. – М., 2002.

24. Кудеяров В.Н. Выделение углекислого газа почвенным покровом России // Природа. 1994. №7. С.37–43.

25. Замолодчиков Д.Г., Карелин Д.В., Иващенко А.И. Углеродный баланс биогеоценозов тундровой зоны России // Углерод в биогеоценозах: Докл. на XV ежегод. чтениях памяти акад. В.Н.Сукачева. – М., 1997. С.99–121.

26. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / Под ред. В.В.Загреева. – М., 1992.

Короткие сообщения

Кроме глобального потепления Земле угрожает глобальное затемнение

Ученые выяснили, что на планете становится не только теплее, но и темнее. Они полагают, что за последние годы количество солнечного света, достигающего поверхности Земли, сократилось на 20%, сообщает британская газета The Guardian. Причиной этого стало загрязнение атмосферы, которое способствует увеличению облачности, играющей роль своеобразного экрана. Как известно, облака отражают излучение и, с одной стороны, помогают аккумулировать тепло, излучаемое поверхностью Земли, а с другой – они препятствуют поступлению солнечной радиации.

Эффект «глобального затемнения» может оказать серьезное воздействие на многие стороны жизни на планете: от использования солнечной энергии до изменения вегетационного периода у различных растений.

Специалисты полагают, что глобальное затемнение возможно происходит из-за роста содержания в атмосфере микроскопических частиц антропогенного происхождения. Данные наблюдений на 100 метеостанциях, расположенных по всему миру, показывают, что количество сажи в атмосфере в 2 раза больше, чем предполагалось ранее.

www.climate.kz

Рассекречен тайный доклад Пентагона о конце света

В распоряжение британской газеты The Observer попал текст секретного отчета аналитиков Пентагона об опасностях глобального потепления. В предназначенном для президента США докладе говорится о том, что развивающиеся климатические процессы в течение ближайших 20 лет приведут к крупным наводнениям, серьезным военным конфликтам и гуманитарным катастрофам мирового масштаба. Авторы доклада, консультант ЦРУ, ранее работавший в нефтяной компании Royal Dutch/Shell Group П.Шварц и калифорнийский специалист по бизнес-стратегиям Д.Рэндалл, предупреждают, что в результате экологических катастроф, которые произойдут в ближайшем будущем, запасы энергоносителей, продовольствия и пресной воды сократятся настолько, что правительства многих стран могут прибегнуть к помощи оружия массового уничтожения для их защиты.

Ранее администрация президента США неоднократно выступала с заявлениями, в которых утверждалось, что проблема глобального потепления не настолько серьезна, как об этом говорят представители «зеленых».

По мнению авторов доклада, глобальное потепление не является чисто научной проблемой, и на самом деле представляет собой серьезную угрозу национальной безопасности США. В интервью The Observer Д.Рэндалл отметил, что ситуация осложняется тем, что развитие процесса практически невозможно контролировать.

В отчете также говорится, что осложняющим фактором является перенаселение. Недостаток ресурсов, который к 2020 г. только усилится, приведет к тому, что по всему миру начнутся войны, целью которых будет контроль за ресурсами.

www.climate.kz