



DOI 10.21178/2079–6080.2018.1.74
УДК 630*551.583(042.3)

Влияние ожидаемого изменения климата на баланс углерода и продуктивность экосистем в лесном секторе Российской Федерации

© В.Г. Сергиенко

The expected impact of climate change on carbon balance and ecosystem productivity in the forest sector of the Russian Federation

V.G. Sergienko (Saint Petersburg Forestry Research Institute)

A review of literature on the estimation of carbon stocks in forests managed in relation to expected climate change. Demonstrates how to change stocks of carbon in phytomass of forest plantation ecosystems in the carbon cycle in global warming. Discusses the main reservoirs of carbon and modern methods of definition of primary biological production of main components of forest plantations. Examples of major activities for the reduction of greenhouse gas emissions and increase carbon sequestration in managed forests.

Productivity of forest biogeocenosis is regarded as the main characteristic that determines the metabolic processes and energy in ecosystems, and is used to assess their carbon-cultivated abilities. The net primary production (NPP) or net productivity is one of the quantitative characteristics that determine the intensity of the carbon sequestration process vegetation. Considered two basic approaches for productivity prediction of forest ecosystems is an empirical and mechanismik. Examples of changes in the biological productivity of forest stands in Northwest Russia, depending on growing conditions and species composition.

An important role for climate change mitigation is given to sustainable forestry management and sustainable use of forest resources: conservation of natural forests and their productivity, combating deforestation, preventing fires and outbreaks of mass insect, regulation of logging followed by reforestation. In that connection, stressed the need to develop a set of measures to reduce greenhouse gas emissions and increase carbon sequestration in managed forests in as forestry

adaptation strategies to climate change, calculated on several decades ahead. This will in the long term to reduce forest loss from adverse weather conditions, increase productivity and improve future environmental conditions to preserve the biodiversity of flora and fauna.

Key words: climate change, the forest sector, carbon balance, biological productivity

Влияние ожидаемого изменения климата на баланс углерода и продуктивность экосистем в лесном секторе Российской Федерации

В.Г. Сергиенко

Проведен обзор литературных источников по проблеме оценки накоплений углерода в управляемых лесах в связи с ожидаемыми климатическими изменениями. Показано, как будут меняться запасы углерода в фитомассе насаждений лесных экосистем в углеродном цикле при глобальном потеплении климата. Рассматриваются основные резервуары углерода и современные методы определения первичной биологической продукции основных компонентов лесного насаждения. Приводятся примеры основных мероприятий по сокращению выбросов парниковых газов и увеличению накопления углерода в управляемых лесах.

Продуктивность лесных биогеоценозов рассматривается как основная характеристика, определяющая процессы обмена веществ и энергии в экосистемах, и используется в целях оценки их углерод-депонирующей способности. Такой показатель, как чистая первичная продукция (NPP) или нетто-продуктивность является одной из количественных характеристик, определяющих интенсивность процесса депонирования углерода растительным покровом. Рассмотрены два основных подхода прогноза продуктивности для лесных экосистем – эмпирический и механизменный. Приведены примеры изменения биологической продуктивности древостоев на Северо-Западе России в зависимости от условий произрастания и породного состава.

Важная роль для смягчения изменения климата отводится устойчивому управлению лесным хозяйством и рациональному использованию лесных ресурсов: сохранение коренных лесов и их продуктивности, борьба с обезлесением, предотвращение пожаров и вспышек массового размножения насекомых, регламентация заготовки древесины с последующим лесовосстановлением. В связи с этим подчеркивается необходимость разработки комплекса мероприятий по сокращению выбросов парниковых газов и увеличению накопления углерода в управляемых лесах в виде Стратегии адаптации лесного хозяйства к изменению климата, рассчитанной на несколько десятилетий вперед. Это позволит в перспективе сократить потери лесного хозяйства от неблагоприятных погодных условий, повысить продуктивность лесов будущего и улучшить экологические условия для сохранения биоразнообразия флоры и фауны.

Ключевые слова: изменение климата, лесной сектор, баланс углерода, биологическая продуктивность

Сергиенко Валерий Гаврилович – старший науч. сотр. сектора проблем изменения климата НИО мониторинга лесных экосистем, канд. биол. наук

E-mail: valerysergienko@mail.ru

ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства»

194021, Санкт-Петербург, Институтский пр., 21

Телефон: 8 (812) 552–79–49

E-mail: mail@spb-niilh.ru

Введение

Значение лесного комплекса в экономике России определяется широким территориальным распространением лесных ресурсов и огромными запасами древесины. Вместе с тем лесам принадлежит ключевая роль в борьбе с происходящим изменением климата в качестве резервуара углекислого газа.

Возрастающая угроза разбалансировки климатической системы заставляет задуматься о том, что делать для предотвращения глобального потепления климата, как обезопасить человечество и окружающую природную среду от негативных проявлений этих изменений. Предлагаются два основных направления действий: первое – снижение антропогенного воздействия на климат путем сокращения выбросов и увеличения поглощения парниковых газов, второе – адаптация к неизбежным климатическим изменениям [23]. Для этого необходима разработка целенаправленных мероприятий в управляемых лесах. Сведенные и деградированные леса при восстановлении потенциально могут быть доведены до состояния, когда в них возобновится прежнее биоразнообразие и все свойства экосистемы. Со временем эти леса снова начнут поглощать углекислый газ и помогать в борьбе с изменением климата.

Антропогенная деятельность по осуществлению лесохозяйственных мероприятий и лесопользованию приводит как к увеличению, так и к снижению общего запаса биомассы лесных экосистем и сопровождается нетто-стоком или нетто-эмиссией CO_2 в атмосферу. Информация о выбросах и стоках парниковых газов формирует основу для разработки стратегии и плана действий по снижению антропогенного воздействия на климат. Заниматься снижением выбросов и увеличением стоков парниковых газов выгодно регионам и отдельным предприятиям, для которых механизмы Киотского протокола создают широкое поле дополнительных возможностей по привлечению отечественных и зарубежных инвесторов в решение назревших социально-экономических и экологических проблем.

Результаты исследования

Цикл углерода, его основные потоки и резервуары

Вариабильность климата в результате увеличения концентрации в атмосфере парниковых, озоноразрушающих и других газов приводит к росту аномальных метеорологических явлений, к неустойчивости и глобальным изменениям климата, нарушению солнечного спектра, опустыниванию, смещению границ географических зон, распространению на новые территории опасных болезней и вредителей и исчезновению биологических видов. На землях, используемых в лесном и сельском хозяйствах, происходит деградация за счет эрозии почв, снижается плодородие и накапливаются вредные вещества. Уменьшается разнообразие экосистем, количество видов растений и животных, что ведет к дестабилизации окружающей среды и невозможным потерям генофонда.

Для адаптации к глобальному потеплению в целях экологической безопасности необходимо предпринимать решительные меры по снижению антропогенных выбросов и увеличению поглощения парниковых газов из атмосферы. В Российской Федерации разработана Стратегия экологической безопасности на период до 2025 года [19], которая является базовым документом планирования в сфере развития защищенности окружающей среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на долгосрочную перспективу.

Круговорот углерода в наземных экосистемах или углеродный цикл занимает особое место в функционировании биосферы, поскольку вклад углеродсодержащих газов (главным образом диоксида углерода и метана) составляет около двух третей величины парникового эффекта. Резервуары углерода, которые в наибольшей степени влияют на природные потоки CO_2 и концентрацию его в атмосфере, сосредоточены в наземной растительной биомассе и почвенном органическом

веществе. В основу углеродного цикла заложены два процесса глобального значения: фотосинтетическое связывание (или сток) углерода и его гетеротрофное высвобождение при биологическом разложении органического вещества, определяющее возвращение в атмосферу углерода из почвы и при разложении древесного детрита [29].

Лесные экосистемы являются возобновляемым и одним из самых больших на суше резервуаров углерода биомассы и почвы. Они играют важную роль в глобальном цикле как

накопители углерода и источники его эмиссии. Запасы углерода в лесах сосредоточены в наземной биомассе, мертвых и разлагающихся органических остатках и гумусе почвы. Большая часть органического углерода содержится в надземной и подземной органике и фитодетрите. На рисунке 1 [28] показана структура живой фитомассы лесов России, согласно которой на стволы и корни деревьев приходится практически 80 %, а доля живого напочвенного покрова, подроста и подлеска составляет 7 %.

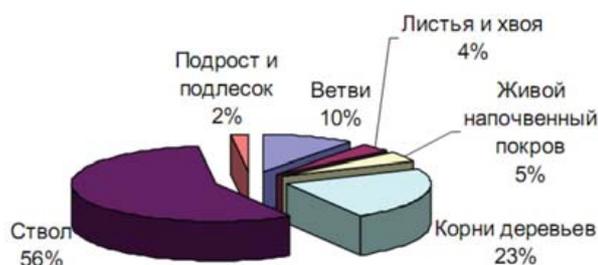


Рис. 1. Фракционная структура фитомассы лесов России [28]

Роль почвы в деструкционном процессе углеродного цикла является определяющей. В почве формируется основная часть потока CO_2 в атмосферу в результате трансформации отмирающей биомассы. Потепление климата приведёт к дополнительному поступлению углекислого газа за счёт усиления деструкции лабильных форм органических веществ в почвах бореальных экосистем, что, в свою очередь, угрожает положительной обратной связью с парниковым эффектом [3, 22].

Лесная растительность является важным резервуаром углерода. Поэтому в последнее время, при ожидаемом потеплении климата, большое значение придаётся роли лесов в депонировании углерода, поскольку лесные экосистемы на длительный срок переводят углерод атмосферы в неактивное состояние и выводят его из круговорота. Углерод, содержащийся в виде CO_2 в атмосфере, может практически полностью пройти через расти-

тельность в течение 10 лет. Вторым по величине наземным хранилищем углерода является древесный детрит — остатки сухостоя, валежа, пней, сухих ветвей, отмерших корней. Особо выделяются фракции крупных древесных остатков и подземного детрита. Почвенный накопитель органического углерода является одним из главных и долговременных [30].

Для оценки бюджета и баланса углерода лесных биомов значимыми наряду с пулами являются углеродные потоки. При современных расчетах биосферного углеродного цикла продукция наземных растительных сообществ подразделяется на категории. Для лесных экосистем основной характеристикой является чистая первичная продукция, вычисляемая на лесных пробных площадях и являющаяся наиболее важной количественной характеристикой интенсивности биопродукционного процесса в лесах [24].

В целом, баланс углерода складывается из

таких взаимосвязанных важнейших показателей, как общая или валовая первичная брутто-продукция (фотосинтетическая продукция, Gross Primary Production – GPP), чистая первичная биологическая продукция или нетто-продукция растительности лесов (Net Primary Production – NPP), дыхание растений, выделение CO_2 в результате жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и разложения почвенной органики. Разность между первичной брутто-продукцией и затратами растений на дыхание определяет первичную нетто-продукцию. В исследованиях биологической продуктивности основное внимание уделяется NPP, характеризующей количество фитомассы, произведенной насаждением на единице площади в единицу времени в процессе фотосинтеза зелеными растениями [26].

При расчетах баланса углерода для отдельных регионов немаловажными компонентами являются антропогенная эмиссия CO_2 (сжигание топлива, продукция аграрного сектора, заготовка и разложение древесины, добыча торфа, лесные пожары, известкование почв и др.), а также вторичная потеря депонирования, вызванная техногенным загрязнением почв и атмосферы и проявляющаяся в усилении выделения углерода из почв агропромышленного комплекса и в снижении углеродной ассимиляционной активности лесных экосистем возле промышленных центров [16].

Большие потери углерода в лесных экосистемах складываются в основном при рубке и вывозе древесины, а также в результате лесных пожаров. Допускается, что в конце столетия площадь пожаров достигнет 8 млн га. Еще большее значение имеют очаги насекомых вредителей и болезней лесов. Вспышки численности насекомых, приводящих к гибели насаждений, являются серьезным фактором, который существенно снижает способность лесов депонировать углерод и одновременно повышает эмиссию CO_2 вследствие разложения опада, которая не прекращается и после затухания самой вспышки. Такие деструктив-

ные процессы, как болезни леса и размножение насекомых вредителей, в перспективе возрастут. Площадь повреждений лесов будет сравнима с площадью насаждений, уничтоженных огнем. Это приведет к увеличению эмиссии к 2100 г. в 2 раза по сравнению с началом века [26].

Размер среднего стока углерода в лесах Российской Федерации на протяжении последних 10 лет находится в пределах 500–700 млн т С/год. Существует большая вероятность того, что «переключение» экосистем высоких широт из поглотителя углерода в его источник будет следствием потепления. Прямые углеродные эмиссии от пожаров в 1998–2010 годах составили в среднем 79 ± 18 млн т С/год, а от насекомых и патогенов – 53 ± 4 млн т С/год. Несколько большую величину составляют эмиссии вследствие разложения древесины деревьев, погибших от пожаров и вредителей в предыдущие годы. Ежегодная заготовка древесины приводит к выбросу в атмосферу около 25 млн т С/год, с учетом переработки древесины – 51 млн т, экспорт-импорт – 21 млн т и образование резерва углерода в лесных продуктах – 5 млн т. В результате средние суммарные эмиссии оцениваются за последнее десятилетие на уровне 250–300 млн т С/год. Приведенные данные не учитывают эмиссий метана, второго по важности парникового газа [26].

Современные методы оценки углеродного бюджета лесной растительности на больших территориях включают два взаимосвязанных подхода: исследование изменения количества органического углерода в основных накопителях лесных экосистем (фитомассе, мертвом органическом веществе растительности, почве) во времени и оценка потоков углерода между резервуарами экосистем, атмосферой, гидросферой и литосферой [28].

Запасы углерода и темпы его депонирования в лесных экосистемах зависят от продуктивности лесов, их состояния, породного состава, возрастной и товарной структуры. Продуктивность лесных биогеоценозов рассма-

тривается как основная характеристика, определяющая процессы обмена веществ и энергии в экосистемах, и используется в целях оценки их углерод-депонирующей способности. Такой показатель, как NPP является фундаментальной характеристикой экосистемы. Нетто-продукция определяет энергетический и вещественный вход в биоту атмосферного CO_2 и представляет собой чистый сток углерода в растительный покров, поэтому используется в качестве показателя интенсивности поглощения CO_2 наземными экосистемами [7, 8].

В прогнозируемых изменениях состава атмосферы ключевую роль будут играть лесные экосистемы, которые являются огромным депо лабильных форм органического углерода, и оценка его баланса позволит ближе подойти к решению проблемы управления продуктивностью и создания насаждений. Они будут отвечать условиям более полного усвоения солнечной энергии и атмосферного CO_2 . Комплекс вопросов, связанных с оценкой запаса и бюджета углерода в лесах России, включая эмиссии углерода от лесных пожаров и лесозаготовки, позволяет решить ряд экологических проблем поглощения углекислого газа и провести оценку потенциальных возможностей его увеличения за счет лесовосстановительных, противопожарных и лесозащитных мероприятий. Это ускорит процесс накопления углерода в лесах и повысит их продуктивность [9, 12]. Лесопользование и лесовыращивание целесообразно рассматривать с точки зрения выполнения насаждениями экологических и климатических функций.

Модели и подходы в изучении первичной биологической продуктивности

Исследования по моделированию отклика лесных экосистем на климатические изменения и расчёт баланса углерода при различных климатических сценариях глобальной

климатической модели Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) являются приоритетными. В последнее время анализируются и обсуждаются принципы и возможности расчёта NPP при изменении климата в XXI веке с помощью современных математических вычислений.

Базы данных о фитомассе и NPP древесноев дают возможности для анализа биологической продуктивности лесных экосистем на глобальном уровне. В качестве примера можно назвать сводку по годичной продукции в растительных сообществах стран Восточной Европы [31], где вычислены различные категории и их соотношение (рис. 2).

Для России рассчитаны возможные изменения продуктивности лесного покрова при увеличении среднегодовой глобальной приповерхностной температуры на 1°C , которые применяются для сценариев определения содержания парниковых газов в атмосфере. База данных по биологической продуктивности лесобразующих пород сформирована для лесов в трансконтинентальных климатических градиентах Евразии на территории 50 экорегионов от Великобритании до Японии. В нее вошли данные как о фракционном составе фитомассы основных пород (более 8 тыс. пробных площадей), так и первичной NPP (около 2600 пробных площадей) [25, 32].

В последние годы на основе накопленных фактических сведений о биологической продуктивности лесов России по регионам обсуждаются принципы и возможности оценки NPP с помощью современных математических моделей в ориентации на изменения климата в XXI веке [11, 24]. Данные по состоянию запасов углерода в различных резервуарах наземных экосистем приведены в аналитическом обзоре методик учёта выбросов и поглощения лесами парниковых газов из атмосферы [27], а полная сводка углеродного потока в лесах России по первичной продукции разработана в Институте лесоведения РАН.



Рис. 2. Соотношение различных категорий глобальной годичной продукции в наземных растительных сообществах Восточной Европы [31]

В Иркутской области оценка продуктивности хвойных древостоев с использованием эколого-физиологического метода учета фотосинтетического поглощения атмосферного углерода, показала согласованность полученных результатов с лесотаксационными материалами. Охарактеризована динамика потока углерода в зависимости от условий вегетации. Это позволило произвести дифференцированный расчет потоков (GPP) и стока (NPP) углерода и на его основе сделать более обоснованные прогнозы динамики этих показателей на больших территориях при глобальном изменении климата [20].

Обладая максимальной среди всех видов растительности биомассой и биологической продуктивностью, леса служат не только мощным источником органических веществ, но и важнейшим регулятором глобальных биосферных процессов. Лесные экосистемы России связывают значительное количество углерода на длительное время. Годовой уровень обмена углерода между наземными биомассами и атмосферой на порядок превышает объём эмиссии в результате деятельности человека. Деструктивные воздействия антропогенных и природных, в том числе климатических факторов существенно ухудшают породно-возрастную структуру лесов, вызывают смену коренных типов леса менее устойчи-

ми и менее ценными производными типами леса, снижают ресурсный и экологический потенциал лесных экосистем, что изменяет биоразнообразие и обедняет видовой состав лесных сообществ. Характерным примером этого процесса является появление крупных массивов лиственных лесов после сплошных рубок на всей территории Северо-Запада европейской части России [14].

Поэтому в управляемых лесах этого региона в условиях глобального изменения климата и сопряжённого с ним антропогенного воздействия требуется разработка комплекса мер для предотвращения возможных климатических рисков при использовании, воспроизводстве, охране и защите лесов. Для этого необходимо изучить отклик растительного покрова на трансформацию климата. Проблема актуальна ещё и потому, что физиологические процессы компонентов растительности оказывают существенное влияние на величину суммарного обменного потока углерода в наземных экосистемах, способствуют уменьшению концентрации углекислого газа в атмосфере и существенно влияют на интенсивность энергообмена в системе атмосфера-подстилающая поверхность [5].

Современные исследования по моделированию реакции растительного покрова наземных экосистем на климатические изменения в

основном касаются анализа пространственного распределения типов растительности (био-мов), ареалов видов-эдикаторов сообществ (детритных экосистем) и динамики границ природно-ландшафтных зон, отражающихся на продуктивности лесов. Способы оценки влияния климата на растительные сообщества достаточно разнообразны. Для многостороннего анализа вероятного отклика наземной биоты на изменение климата разработан широкий спектр различных моделей, возможных сценариев и методов диагностики.

Согласно данным, полученным с использованием спутниковых наблюдений, увеличение продуктивности биомов на зональном градиенте экотона от северной тундры до boreального леса продолжится и в последующие десятилетия. Моделирование биопродуктивности показало, что в результате обусловленной климатом динамики границ растительных зон малопродуктивные биомы замещаются более продуктивными. К середине XXI века увеличение продуктивности в отдельных зонах субарктической растительности может достигнуть 30 % от её современной величины за счёт сокращения площади тундры, занимаемой лесными и кустарниковыми сообществами. Этот процесс имеет место уже в настоящее время и согласно модельным расчётам с использованием климатических проекций продолжится с нарастающей интенсивностью. Поэтому необходимо учитывать ограничения, связанные со скоростью миграции таких ценозообразователей, как деревья и кустарники. Наблюдаемый рост фотосинтетической активности связан не столько с инвазией новых видов, сколько с увеличением площади, занимаемой древесной растительностью, и освоением новых местообитаний видами аборигенной флоры [2].

Прогноз продуктивности для лесных экосистем может проводиться в рамках двух основных подходов — эмпирического и механизменного. В первом случае используются регрессионные зависимости, которые позволяют дать прогноз расположения биомов, за-

паса углерода и количества поглощённого углерода при изменении климата. А в основе механизменных моделей лежит то или иное описание физического устройства объекта. По этим моделям, например, рассчитывается динамика лесных площадей по данным ГУЛФ с учётом прогноза баланса углерода [7].

М.Д. Корзухиным [11] было рассмотрено несколько десятков расчётных оценок влияния изменения климата на состояние и продуктивность лесных экосистем. Они носят предварительный характер и дают прогноз расчёта NPP для ожидаемого изменения климата. Для вычислений берутся разные подходы с привлечением базовых климатических параметров — температуры воздуха, осадков, влажности почвы, концентрации CO_2 в приземном слое воздуха, фотосинтетической активной радиации. Прогнозные значения этих величин определяются с использованием глобальных моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) — General Circulation Models (GCM).

Взаимодействие климатических изменений и продуктивных процессов растительного покрова изучалось в ряде исследований, в которых анализировались возможные изменения агроклиматических условий, биоклиматического потенциала (БКП) и урожайности основных сельскохозяйственных культур для нескольких сценариев изменения климата. Моделирование влияния этого фактора на продуктивность сельского хозяйства России представлено в работе В.Н. Павловой [13].

По используемым климатическим сценариям, к середине XXI века глобальное потепление приведет к росту БКП территории России на 3,9–11,1 % по сравнению с существующим потенциалом, а к концу текущего столетия он может снизиться до 7 %. Расчёт значений БКП современной земледельческой зоны был выполнен с учетом естественного увлажнения и уровня плодородия почв. Прогноз увеличения БКП и продуктивности относится в том числе и к зерновым культурам, поэтому к концу столетия при продолжении увеличе-

ния среднегодовой температуры воздуха может произойти существенное снижение этих показателей в отдельных регионах России.

К значительным потерям аграрной продукции неизбежно приведет ожидаемое на протяжении всего XXI века постепенное расширение в северном и восточном направлениях границ ареалов и зон массового размножения основных климатозависимых вредителей (колорадского жука, некоторых саранчовых и др.) и возбудителей болезней. Для смягчения негативных последствий изменения климата необходима разработка методов адаптации сельского хозяйства, в первую очередь в Центральном и Северо-Западном ФО.

Изменение биологической продуктивности древостоев в зависимости от условий произрастания и породного состава

Углерод фитомассы в управляемых лесах России определяет продуктивность древостоев, которая является основной характеристикой процессов их развития и оценки углероддепонирующей ёмкости лесных экосистем. Фитомасса и чистая первичная продукция определяются регрессивным методом – рассчитываются по уравнению зависимости каждой фракции органической массы от диаметра ствола, а затем на основе данных перечета деревьев по ступеням толщины определяются фитомасса и продукция на пробной площади и на 1 га. К настоящему времени разработаны модели динамики NPP на разных уровнях, что позволяет оценивать чистую первичную продукцию как функцию таких климатических переменных, как температура, осадки, а также различных видов антропогенных воздействий (рубки, лесные пожары, ветровалы, загрязнения) [7, 8].

В ельниках Европейского Севера России (средний состав 7ЕЗБ+Пх, СедОс) черничного ряда таежных сообществ на типичных подзолистых почвах NPP формируется главным образом древостоем (72–91 %). Древесный дебрис (сухостой, валеж и сухие ветви) аккумуля-

рует 8,0–12,8 %. Участие в запасании органического вещества подростом и растениями напочвенного покрова незначительное, каждый ярус – менее 1 % от общих запасов органического углерода фитоценоза [3].

Биологическая продуктивность фитоценоза ельников в лесных экосистемах в зависимости от условий произрастания варьирует в пределах 2,5–11 т/га. Причем в депонирование углерода отдельные породы в составе древостоя вносят разный вклад. Например, основную роль в сложном по составу (5Е2К1Пх1Б) старовозрастном древостое ельника черничника Печоро-Илычского заповедника выполняют ель и кедр (42,7 и 38,5 % соответственно). Пихта за год формирует 9,7 %, а береза 9,1 % продукции фитомассы. На долю растений напочвенного покрова в таежной зоне приходится от 8,6 % в лиственно-хвойном ценозе до 28,1 % в ельнике черничном влажном. Продукция подроста и подлеска составляет менее 1 % от общего прироста фитомассы [3].

Анализ данных фракционной структуры NPP по широтному градиенту, проведенный В.А. Усольцевым [24], показал, что продуктивность 100-летних ельников закономерно возрастает от северной тайги (3,9 т/га) к средней (5,3) и далее к югу, в подзонах хвойно-широколиственных (10,0 т/га). На Урале аналогичная закономерность прослеживается с севера на юг по подзонам лесотундры, северной и средней тайги для показателя надземной первичной продукции – соответственно 1,1; 1,23 и 1,64 т/га.

Общие запасы органической массы фитодетрита (сухостойные деревья, сухие ветви и корни, сухие пни, древесина валежа и остолопов) в ценозах хвойно-лиственных насаждений среднетаежных ельников на автоморфных почвах Северо-Запада России составляют 7,3–12,0 % от общей фитомассы древостоев. Большая часть древесины дебриса приходится на стволовую древесину сухостойных деревьев и валежа [3].

Комплекс мероприятий по сокращению выбросов парниковых газов и увеличению накопления углерода в управляемых лесах

К середине XXI столетия в результате дальнейшего развития промышленности можно ожидать удвоения концентрации CO₂ в атмосфере Земли по сравнению со временем, предшествовавшим индустриализации (примерно 1850 г.), а к 2100 г. вероятно глобальное потепление на 2 °С и более. То есть существует угроза антропогенного парникового эффекта, в первую очередь – при сжигании ископаемого топлива. Рост выбросов CO₂ в основном связан с дальнейшим ростом мировой потребности в энергии, что будет влиять на изменение климата. Поэтому нельзя отрицать безусловную необходимость принятия неотложных мер по сокращению выбросов парниковых газов. Для уменьшения эмиссий требуется модернизация и повышение эффективности промышленных производств, увеличение объёмов лесовосстановления и стимулирования лесовозобновления. Должен быть усилен поиск, направленный на замену ископаемого топлива другими источниками энергии, в первую очередь экологически безвредными, не требующими расхода кислорода, шире использовать водную и ветровую энергию, а также необходимо изучение и применение существующего опыта реализации проектов по увеличению стоков углерода и сокращению выбросов парниковых газов в лесном секторе.

Целью Парижского соглашения по климату является сдерживание потепления на планете в пределах 2 °С [28]. Поэтому стратегия развития мирового сообщества направлена на разработку адаптационных мер к глобальному потеплению в долгосрочной перспективе низкоуглеродного развития, при котором леса выполняют основные функции – поглощение и эмиссию углекислого газа. При этом важная роль для смягчения изменения климата отводится устойчивому управлению лесным хозяйством и рациональному использованию лесных ресурсов, вклю-

чая сохранение коренных лесов и их продуктивности, борьбу с обезлесением, предотвращение пожаров и вспышек массового размножения насекомых, регламентацию заготовки древесины с последующим лесовосстановлением.

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединённых Наций (FAO), к способам ведения лесного хозяйства, способствующим накоплению углеродных стоков, относятся следующие:

- содействие естественному возобновлению леса и восстановление леса;
- увеличение лесного покрова при помощи агро- и городского хозяйства и посадки деревьев в сельских ландшафтах;
- увеличение запасов углерода в биомассе и почве и способности к связыванию CO₂ путем изменения практики ведения лесного хозяйства.

Существенный вклад в увеличение стоков, предотвращение и снижение эмиссий парниковых газов в атмосферу вносят мероприятия по охране лесов от пожаров, защите их от вредителей и болезней, использование щадящих способов заготовки леса, лесовосстановление и лесоразведение. Необходимо сократить вырубку и деградацию лесных массивов, расширить площади существующих заповедников и национальных парков, сохранить оставшиеся в естественном состоянии не затронутые антропогенным воздействием и хозяйственным использованием массивы малонарушенных лесных территорий.

При лесовосстановлении необходимо создавать насаждения не из одной породы, а в сочетании нескольких видов. Например, в управляемых лесах Северо-Западного ФО России рекомендовано комбинированное использование наряду с основными лесообразователями (ель, сосна, берёза, осина, ольха серая и черная, лиственница и реже пихта) таких хозяйственно-ценных пород, как дуб черешчатый, ясень обыкновенный, липа сердцевидная, вяз шершавый, клен платановидный, сосна кедровая сибирская и сосна лап-

ландская [6]. Эти и другие мероприятия должны быть направлены на усиление мер по сохранению, устойчивому управлению и увеличению накопления углерода в лесах.

При переходе от использования леса как ресурса к ответственному управлению эффективность ведения лесного хозяйства возрастает. В основе последнего лежит экосистемный подход, ориентированный не только и не столько на извлечение дохода, а на сохранение целостности лесных экосистем. До настоящего времени в России экосистемные услуги рассматривались изолированно, без учета взаимоотношений и обратных связей, и носили фрагментарный характер [10].

При организации экосистемного лесного хозяйства и ответственного управления лесами на первый план выходит экологическая функция лесов, поскольку среди природных экосистем суши леса наиболее эффективно поглощают CO_2 и выступают как огромное хранилище органического углерода. Поэтому целесообразно проведение в них следующих глобальных мер: мониторинг динамики и состояния бореальных лесов с использованием ГИС-технологий; расширение ООПТ, представляющих собой эталоны видового, популяционного и ландшафтного разнообразия; моделирование реакции экосистем и их компонентов на изменение климата; восстановление утраченных лесных территорий. Необходимо также организовать связь корректного учета углеродного пула в насаждениях для создания автоматизированных систем пространственного анализа депонирования углерода в совмещенном формате управления базами данных и ГИС-технологии [1]. Это позволит обосновать переход к экологически ответственному лесопользованию [15], для ведения которого предлагаются два основополагающих направления [4]:

1) Связывание парниковых газов (экономические механизмы Киотского протокола). Как показывает имеющийся опыт, возможны расчеты и оценки для лесов и болот, а также сельскохозяйственных угодий.

2) Сохранение биоразнообразия. Здесь при расчетах целесообразно отталкиваться от землепользования и его видов. В центре внимания на первом этапе оценки могут находиться ООПТ, их функции и сохраняемое биоразнообразие.

Адаптация в области лесного хозяйства и в сфере экологии должна быть направлена в первую очередь на выработку и реализацию заблаговременных мер по снижению негативных последствий изменения климата, на фоне которой будут происходить необратимые последствия. При повышении температуры воздуха в летний период к середине XXI века возрастет пожарная опасность насаждений и число возгораний. Можно ожидать также новых массовых усыханий лесных насаждений, связанных с обусловленными климатическими изменениями вспышками численности насекомых-вредителей, в том числе и тех видов, которые ранее не образовывали очагов.

В связи с этим необходимо разработать комплекс адаптационных мер к глобальному потеплению на несколько десятилетий вперед. Примером может служить созданная в Республике Беларусь «Стратегия адаптации лесного хозяйства к изменениям климата до 2050 г.» [18]. В рамках ее подготовки выполнен прогноз изменения климата, состава и структуры лесного фонда, ресурсов побочного пользования, состава и вредоносности основных насекомых-вредителей леса, лесопожарной обстановки.

Повышение устойчивости лесов в Республике Беларусь предлагается осуществлять следующими мерами:

- сокращением доли неустойчивых к неблагоприятным изменениям климата древостоев;
- повышением доли устойчивых насаждений;
- регулированием состава и структуры лесов на всех стадиях лесовыращивания и лесопользования;
- селекцией более устойчивых форм аборигенных древесных растений для формиро-

вания лесов будущего.

Это будет способствовать росту эффективности лесного хозяйства в условиях меняющегося климата при проектировании и проведении мероприятий и лесопользования, сокращению потерь от неблагоприятных погодных условий на 20–50 %, росту продуктивности лесов будущего не менее чем на 10 % и улучшению экологических условий для сохранения биологического разнообразия флоры и фауны [18].

Для стабилизации экологического равновесия и повышения устойчивости лесов к изменению климата в лесном секторе экономики России необходима разработка системы упреждающих адаптационных мер, направленных на поддержание, улучшение и/или восстановление экосистемных функций лесов, что составляет основу устойчивого управления ими [21]. Мероприятия для смягчения изменений климата могут быть объединены в следующие основные группы [17]:

- 1) Лесовосстановление и лесоразведение.
- 2) Снижение уровня обезлесения и деградации лесов.
- 3) Посадка лесов с коротким оборотом хозяйства, например, создание плантаций для производства бумаги или энергии.
- 4) Лесохозяйственные мероприятия, направленные на увеличение содержания углерода в лесах, например, увеличение запаса древостоев, сокращение площади не покрытых лесом земель.
- 5) Снижение эмиссий углерода в атмосферу, например, за счет уменьшения негативного воздействия биотических (вредители и болезни) и абиотических (пожары и ураганы) факторов, приводящих к возникновению новых «волн» усыхания древостоев, повышенному отпаду и ухудшению качества древесины.
- 6) Увеличение содержания углерода в лесных продуктах и использование древесины для замещения ископаемого топлива.

Изученность адаптивного потенциала и региональной чувствительности лесов России к потеплению в настоящее время еще недо-

статочна, хотя очевидно, что климатические изменения повлияют на все функции и полезности древостоев. Чтобы содействовать лучшей адаптации и противодействию к меняющемуся климату, необходимо проведение следующих мер:

- целенаправленный отбор древесных пород, адаптированных к ожидаемому изменению климата;
- уменьшение оборота хозяйства для ускоренного развития адаптационных свойств древесных пород;
- использование смесей зародышевой плазмы с высоким уровнем генетической вариации;
- мониторинг и проведение долгосрочных исследований с целью испытания генотипов в разнообразных климатических условиях.

Реализация этих мероприятий позволит оптимизировать структуру лесов с учетом вероятных изменений климата, сохранив их лесохозяйственные и биологические ценности (продуктивность, разнообразие флоры и фауны, защитные функции), а также повысить устойчивость к насекомым-вредителям и болезням леса. Ресурсы побочного пользования будут сохранены, а экосистемные услуги умножены, снизятся пожароопасность и потери от воздействия негативных климатических явлений.

Заключение

Расчет углеродного баланса служит основой для определения круговорота углерода в природных экосистемах при оценке последствий глобального изменения климата. Поступление CO_2 в атмосферу преимущественно обусловлено антропогенной деятельностью. Формирование его текущего баланса связано с промышленными выбросами (в основном топливно-энергетическим комплексом) – с одной стороны, и поглощением лесами и нелесными биомами – с другой. Резервуарами углерода в лесных экосистемах являются надземная (древесная и травянистая растительность), подземная биомасса, мертвая древеси-

на (валеж и подстилка) и органическое вещество почвы.

Проблемы глобальных экологических изменений нельзя решать без оценки роли бореальных лесов в поглощении атмосферного углерода и продолжительности его удержания в лесных экосистемах. В свою очередь, эти задачи требуют количественного описания и математического моделирования основных потоков углеродного обмена между атмосферой и компонентами бореальных лесов. С помощью ГИС-метода и баз данных по составу фитомассы насаждений можно определить потенциальный сток углерода и NPP на изучаемой территории в зависимости от условий вегетационного периода, породного состава древостоев и структуры лесов, определяющих

биопродуктивность лесных экосистем.

Экологический потенциал лесов России обусловлен их ролью в стабилизации состава атмосферного воздуха и климата Земли в целом, смягчении последствий глобального потепления. Экосистемные услуги в ближайшем будущем могут приобрести даже большую значимость, чем ресурсный потенциал лесов, ориентированный на удовлетворение потребностей в древесном сырье и недревесной продукции. В настоящее время стимулируются научные разработки и практические шаги по совмещению методик учета и систем оценки запасов и потоков углерода, разрабатываются адаптационные меры и способы ведения лесного хозяйства, направленные на противодействие глобальному потеплению климата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Азаренок, В.А. Территориальное распределение углерода в лесных насаждениях России в свете обязательств по протоколу Киото / В.А. Азаренок, В.А. Усольцев // Лесной вестник. – 2008. – № 3. – С. 5–8.
2. Анисимов, О.А. Моделирование биопродуктивности в Арктической зоне России с использованием спутниковых наблюдений / О.А. Анисимов, Е.Л. Жильцова, В.Ю. Разживин // Исследование Земли из космоса. – 2015. – № 3. – С. 60–70.
3. Бобкова, К.С. Динамика содержания углерода органического вещества в среднетаёжных ельниках на автоморфных почвах / К.С. Бобкова, А.В. Машика, А.В. Смагин. – СПб.: Наука, 2014. – 270 с.
4. Бобылев, С.Н. Подходы к оценке экосистемных услуг на уровне города и механизмы платежей / С.Н. Бобылев // Бюллетень «На пути к устойчивому развитию России». – 2014. – № 70. – С. 3–12.
5. Голубятников, Л.Л. Модельные оценки влияния климата на растительный покров и сток углерода из атмосферы / Л.Л. Голубятников, И.И. Мохов, Е.А. Денисенко, В.А. Тихонов // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2005. – Том 41. – № 1. – С. 22–32.
6. Григорьева, С.О. Влияние изменений климата на состав древостоев, их устойчивость и ареалы основных лесобразующих пород / С.О. Григорьева, А.В. Константинов, И.М. Школьник // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – ФБУ «СПбНИИЛХ», гл. ред. А.В. Константинов. – СПб.: СПбНИИЛХ, 2016. – № 3. – С. 4–21.
7. Замолодчиков, Д.Г. Бюджет углерода управляемых лесов Российской Федерации в 1990–2050 гг.: ретроспективная оценка и прогноз / Д.Г. Замолодчиков, В.И. Грабовский, Г.Н. Коровин [и др.] // Метеорология и гидрология, 2013. – № 10. – С. 73–92.
8. Замолодчиков, Д.Г. Динамика углеродного баланса лесов России и их вклад в изменение атмосферной концентрации углекислого газа / Д.Г. Замолодчиков // Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов России». – 2012. – № 5. – С. 31–38.
9. Исаев, А.С. Экологические проблемы поглощения углекислого газа посредством лесовосстановления и лесоразведения в России (аналитический обзор) / А.С. Исаев, Г.Н. Коровин, В.И. Сухих [и др.]. М.: Центр экологической политики России, 1996. – 156 с.

10. Касимов, В.Д. Состояние бореальных лесов России и их роль в условиях глобального изменения климата / Д.В. Касимов, В.Д. Касимов // Лесохозяйственная информация, 2008. – № 12. – С. 3–12.
11. Корзухин, М.Д. Расчётные оценки влияния изменения климата на продуктивность лесов (обзор подходов) / М.Д. Корзухин // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2015. – Том XXVI. – № 2. – М.: Гидрометеиздат. – С. 33–58.
12. Молчанов, А.Г. Баланс CO₂ в экосистемах сосняков и дубрав в разных лесорастительных зонах / А.Г. Молчанов. – Тула: Гриф и К, 2007. – 284 с.
13. Павлова, В.Н. Агроклиматические ресурсы и продуктивность сельского хозяйства России при реализации новых климатических сценариев в XXI веке / В.Н. Павлова // Труды ГГО.– 2013. – Вып. 569. – С. 20–37.
14. Петров, Н.В. Особенности и оценка ресурсного потенциала лесов в различных типах географического ландшафта северо-запада таёжной зоны России (на примере Республики Карелия) / Н.В. Петров. Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – СПб: СПбГЛТУ, 2012. – 22 с.
15. Писаренко, А.И. О лесной политике России. Изд. 2-е, доп. и перераб. / А.И. Писаренко, В.В. Страхов – М.: Издательский дом «Юриспруденция», 2012. – 600 с.
16. Помазкина, Л.В. Интегральная оценка влияния техногенного загрязнения и климатических факторов на агроэкосистемы Байкальской природной территории / Л.В. Помазкина // Успехи соврем. биологии. – 2011. – Т. 131. – № 2. – С. 193–202.
17. Прогноз развития лесного сектора Российской Федерации до 2030 года. – Рим: ФАО, 2012. – 159 с.
18. Пугачевский, А.В. Принципы и пути адаптации лесного хозяйства к изменению климата / А.В. Пугачевский, М.В. Ермохин // Доклад на XII Международной конференции молодых учёных «Леса Евразии – Белорусское Поозерье», 30 сентября – 6 октября 2012, Браслав, Беларусь. – Минск: ИЭБ НАН Беларуси. – 22 с.
19. Стратегия экологической безопасности на период до 2025 года. – М.: МПР, 2012. – 37 с. Утв. Президентом 20 апреля 2017 г.
20. Суворова, Г.Г. Фотосинтетическая продуктивность хвойных древостоев Иркутской области / Г.Г. Суворова, Е.В. Попова // Отв. ред. Р.К. Салаяев. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2015. – 95 с.
21. Торжков, И.О. Анализ комплекса адаптационных мер к ожидаемым изменениям климата в лесном секторе Российской Федерации / И.О. Торжков, Т.С. Королева, А.В. Константинов, Е.А. Кушнир // Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – ФБУ «СПбНИИЛХ», гл. ред. А.В. Константинов. – СПб.: СПбНИИЛХ, 2017. – № 4. – С. 64–77.
22. Углерод в лесных и болотных экосистемах особо охраняемых природных территорий Республики Коми. – Сыктывкар, 2014. – 202 с. (Институт биологии Коми НЦ УрО РАН).
23. Управление парниковыми газами в России: региональные проекты и инициативы бизнеса / Под ред. А.А. Голуба и В.М. Захарова. – М.: Центр экологической политики России, 2004. – 86 с.
24. Усольцев, В.А. Биологическая продуктивность лесообразующих пород в климатических градиентах Евразии (к менеджменту биосферных функций лесов) / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2016. – 384 с.
25. Усольцев, В.А. Фитомасса и первичная продуктивность лесов Евразии / В.А. Усольцев – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – 570 с.
26. Федоров, Б.Г. Российский углеродный баланс: монография / Б.Г. Федоров. – М.: Научный консультант. – 2017. – 82 с.

27. Филипчук, А.Н. Аналитический обзор методик учёта выбросов и поглощения лесами парниковых газов атмосферы / А.Н. Филипчук, Н.В. Малышева, Б.Н. Моисеев, В.В. Страхов. // Лесохозяйственная информация. – 2016. – № 3. – С. 36–85.
28. Филипчук, А.Н. Новые аспекты оценки поглощения парниковых газов лесами России в контексте Парижского соглашения об изменении климата / А.Н. Филипчук, Б.Н. Моисеев, Н.В. Малышева // Лесохозяйственная информация. – 2017. – № 1. – С. 88–97.
29. Швиденко, А.З. Материалы к познанию современной продуктивности лесных экосистем России / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепаченко, С. Нильссон // Базовые проблемы перехода к устойчивому лесному хозяйству в России. – Красноярск: Институт леса СО РАН, 2007. – С. 7–37.
30. Щепаченко, Д.Г. Биологическая продуктивность и бюджет углерода лиственных лесов Северо-Востока России / Д.Г. Щепаченко, А.З. Швиденко, В.С. Шалаев. – М.: МГУЛ, 2008. – 296 с.
31. Schulze, E.-D. CarboEurope Integrated Project / E.-D. Schulze, Ph. Cias, H. Dolman et al. // Reports of Workshop FAO “Harmonization of terrestrial carbon measurements in CEE countries”. – Prague. – 2004. – P. 1–32.
32. Usoltsev, V.A. Forest biomass and primary production database for Eurasia. CD-version. The second edition, enlarged and re-harmonized. – Yekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2013. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3059>).

REFERENCES

1. Azarenok V.A., Usol'tsev V.A. Territorial'noe raspredelenie ugleroda v lesnyh nasazhdenijah Rossii v svete objazatel'stv po protokolu Kioto, *Lesnoj vestnik*, 2008, no. 3, pp. 5–8. (In Russian)
2. Anisimov O.A., Zhil'tsova E.L., Razzhivin V. JU. Modelirovanie bioproduktivnosti v Arkticheskoj zone Rossii s ispol'zovaniem sputnikovyh nabljudenij, *Issledovanie zemli iz kosmosa*, 2015, no. 3, pp. 60–70. (In Russian)
3. Bobkova K.S., Mashika A.V., Smagin A.V. Dinamika sodержanija ugleroda organicheskogo veschestva v srednetajozhnyh el'nikah na avtomorfnyh pochvah, Saint Petersburg, Nauka, 2014, 270 p. (In Russian)
4. Bobylev S.N. Podhody k otsenke ekosistemnyh uslug na urovne goroda i mehanizmy platezhej, *Bjulleten' «Na puti k ustojchivomu razvitiju Rossii»*, 2014, no. 70, pp. 3–12. (In Russian)
5. Golubjatnikov L.L., Mohov I.I., Denisenko E.A., Tihonov V.A. Model'nye otsenki vlijanija klimata na rastitel'nyj pokrov i stok ugleroda iz atmosfery, *Izvestija RAN, Fizika atmosfery i okeana*, 2005, 41, no. 1, pp. 22–32. (In Russian)
6. Grigor'eva S.O., Konstantinov A.V., Shkol'nik I.M. Vlijanie izmenenij klimata na sostav drevostoev, ih ustojchivost' i arealy osnovnyh lesoobrazujuschih porod, *Trudy Sankt-Peterburgskogo NII lesnogo hozjajstva, FBU «SPbNIIILH»*, gl. red. A.V. Konstantinov, Saint Petersburg, 2016, no. 3, pp. 4–21. (In Russian)
7. Zamolodchikov D.G., Grabovskiy V.I., Korovin G.N., Gitarskiy M.L., Blinov V.G., Dmitriyev V.V., Kurts V.A. Bjudzhet ugleroda upravljajemyh lesov Rossijskoj Federatsii v 1990–2050 gg.: retrospektivnaja otsenka i prognoz, *Meteorologija i gidrologija*, 2013, no. 10, pp. 73–92. (In Russian)
8. Zamolodchikov D.G. Dinamika uglerodnogo balansa lesov Rossii i ih vklad v izmenenie atmosfernoj kontsentratsii uglekislogo gaza, *Bjulleten' «Ispol'zovanie i ohrana prirodnyh resursov Rossii»*, 2012, no. 5, pp. 31–38. (In Russian)
9. Isaev A.S., Korovin G.N., Suhij V.I., Korovin G.N., Sukhikh V.I., Titov S.P., Utkin A.I., Golub A.A., Zamolodchikov D.G., Pryazhnikov A.A. Ekologicheskie problemy pogloschenija uglekislogo gaza posredstvom lesovosstanovlenija i lesorazvedenija v Rossii (analiticheskij obzor). Moscow, Tsentr 'ekologicheskoy politiki Rossii, 1996, 156 p. (In Russian)

10. Kasimov V.D., Kasimov V.D. Sostojanie boreal'nyh lesov Rossii i ih rol' v uslovijah global'nogo izmenenija klimata. *Lesohozjajstvennaja informatsija*, 2008, no. 12. pp. 3–12. (In Russian)
11. Korzuhin M.D. Raschjotnye otsenki vlijanija izmenenija klimata na produktivnost' lesov (obzor podhodov). *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovanija ekosistem*, 2015, XXVI, no. 2, Moscow, Gidrometeoizdat, pp. 33–58. (In Russian)
12. Molchanov A.G. Balans SO₂ v ekosistemah sosnjakov i dubrav v raznyh lesorastitel'nyh zonah. Tula, Grif i K, 2007. 284 p. (In Russian)
13. Pavlova V.N. Agroklimaticheskie resursy i produktivnost' sel'skogo hozjajstva Rossii pri realizatsii novyh klimaticheskikh stsenarijev v XXI veke. *Trudy GGO*, 2013, vyp. 569, pp. 20–37. (In Russian)
14. Petrov N.V. Osobennosti i otsenka resursnogo potentsiala lesov v razlichnyh tipah geograficheskogo landshafta severo-zapada tajozhnoj zony Rossii (na primere Respubliki Karelija) Avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk, Saint Petersburg, SPbGLTU, 2012, 22 p. (In Russian)
15. Pisarenko A.I., Strahov V.V. O lesnoj politike Rossii. Izd. 2-e, dop. i pererab. Moscow, Izdatel'skij dom «Jurisprudentsija», 2012, 600 p. (In Russian)
16. Pomazkina L.V. Integral'naja otsenka vlijanija tehnogennogo zagrjaznenija i klimaticheskikh faktorov na agroekosistemy Bajkal'skoj prirodnoj territorii. *Uspehi sovrem. Biologii*, 2011, 131, no. 2, pp. 193–202. (In Russian)
17. Prognoz razvitiya lesnogo sektora Rossijskoj Federatsii do 2030 goda. Rim, FAO, 2012, 159 p. (In Russian)
18. Pugachevskij A.V., Ermohin M.V. Printsipy i puti adaptatsii lesnogo hozjajstva k izmeneniju klimata. Doklad na XII Mezhdunarodnoj konferentsii molodyh uchjonyh «Lesa Evrazii – Belorusskoe Poozer'e», 30 sentjabrja – 6 oktjabrja 2012, Braslav, Belarus'. Minsk: IEB NAN Belarusi, 22 p. (In Russian)
19. Strategija ekologicheskoy bezopasnosti na period do 2025 goda. Moscow, MPR, 2012, 37 p. Utv. Prezidentom 20 aprelya 2017 g. (In Russian)
20. Suvorova G.G., Popova E.V. Fotosinteticheskaja produktivnost' hvojnyh drevostoev Irkutskoj oblasti. Otv. red. R.K. Saljaev. Novosibirsk, Akademicheskoe izd-vo "Geo", 2015, 95 p. (In Russian)
21. Torzhkov I.O., Koroleva T.S., Konstantinov A.V., Kushnir E.A. Analiz kompleksa adaptatsionnykh mer k ozhidaemym izmenenijam klimata v lesnom sektore Rossijskoj Federatsii. *Trudy Sankt-Peterburgskogo NII lesnogo khozyajstva*. FBU «SPbNIIILKH», gl. red. A.V. Konstantinov, Saint Petersburg, SPbNIIILKH, 2017, no. 4. pp. 64–77. (In Russian)
22. Uglerod v lesnyh i bolotnyh ekosistemah osobo ohranjaemyh prirodnyh territorij Respubliki Komi. Syktyvkar, 2014, 202 p. (Institut biologii Komi NTs UrO RAN). (In Russian)
23. Upravlenie parnikovymi gazami v Rossii: regional'nye proekty i initsiativy biznesa. Pod red. A.A. Goluba i V.M. Zaharova. Moscow, Tsentr ekologicheskoy politiki Rossii, 2004, 86 p. (In Russian)
24. Usol'tsev V.A. Biologicheskaja produktivnost' lesoobrazujuschih porod v klimaticheskikh gradientah Evrazii (k menezhmentu biosfernyh funktsij lesov). Ekaterinburg, Ural'skij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet, 2016, 384 p. (In Russian)
25. Usol'tsev V.A. Fitomassa i pervichnaja produktivnost' lesov Evrazii. Ekaterinburg, UrO RAN, 2010, 570 p. (In Russian)
26. Fedorov B.G. Rossijskij uglerodnyj balans: monografiya. Moscow, Nauchnyj konsul'tant, 2017, 82 p. (In Russian)
27. Filipchuk A.N., Malysheva N.V., Moiseev B.N., Strahov V.V. Analiticheskij obzor metodik uchjota vybrosov i pogloschenija lesami parnikovyh gazov atmosfery. *Lesohozjajstvennaja informatsija*, 2016, no. 3, pp. 36–85. (In Russian)

28. Filipchuk A.N., Moiseev B.N., Malysheva N.V. Novye aspekty otsenki pogloschenija parnikovyh gazov lesami Rossii v kontekste Parizhskogo soglashenija ob izmenenii klimata. *Lesohozhajstvennaja informatsija*, 2017, no. 1, pp. 88–97. (In Russian)
29. Shvidenko A.Z., Schepachenko D.G., Nil'sson S. Materialy k poznaniyu sovremennoj produktivnosti lesnykh ekosistem Rossii. Bazovye problemy perekhoda k ustojchivomu lesnomu khozyajstvu v Rossii. Krasnoyarsk, Institut lesa SO RAN, 2007, pp. 7–37. (In Russian)
30. Schepachenko D.G., Shvidenko A.Z., Shalaev V.S. Biologicheskaja produktivnost' i bjudzhet ugleroda listvennichnyh lesov Severo-Vostoka Rossii. Moskva, MGUL, 2008, 296 p. (In Russian)
31. Schulze E.-D., Cias Ph., Dolman H. et al. CarboEurope Integrated Project. Reports of Workshop FAO "Harmonization of terrestrial carbon measurements in CEE countries". Prague, 2004, pp. 1–32.
32. Usoltsev V.A. Forest biomass and primary production database for Eurasia. CD-version. The second edition, enlarged and re-harmonized. Yekaterinburg, Ural State Forest Engineering University, 2013. (<http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/3059>).

Статья поступила в редакцию 14.03.2018