

УДК 581.5(470.51-25)

Б. В. Красуцкий**Ассимиляционная функция лесов Челябинской области по поглощению углекислого газа**

В соответствии с модифицированной методикой Г. Е. Мекуш произведен расчет ассимиляционной функции лесов Челябинской области по поглощению углекислого газа. Показано, что лесные экосистемы на 1 гектаре площади ежегодно могут поглотить 0,7 тонны CO_2 , а ежегодная эмиссия углекислого газа составляет 8,4 тонны на 1 гектар. В целом ассимиляционный потенциал лесов Челябинской области по поглощению углекислого газа достигает 1664,7 тыс. тонн в год, а его стоимость равна 16,7 млн. долларов в год. Таким образом, экологические функции лесов преобладают над их эксплуатационными функциями не только в природоохранном смысле, но и в экономическом аспекте.

Ключевые слова: лесные экосистемы, углекислый газ, ассимиляционная функция, методы исследования, экономическая оценка лесов.

Для достижения целей устойчивого развития возникла необходимость формирования нового направления в сфере природопользования, которое связывало бы задачи воспроизводства природных ресурсов и восстановления качества природной среды с одновременной оценкой ассимиляционной функции биосферы в целом и конкретных природных комплексов в частности.

Известно, что биота «является регулятором окружающей среды на нашей планете. В этой связи возникают два вопроса: во-первых, какие внутренние свойства обеспечивают способность регулятора осуществлять его функцию и позволяют ему при необходимости изменяться адекватно изменениям окружающей среды; во-вторых, каковы границы изменения среды, при которых регулятор сохраняет возможность нормального функционирования» [5, с. 9].

Ассимиляционный потенциал (ассимиляционная емкость, или, в конкретном смысле, ассимиляционная функция) окружающей природной среды (экосистемы) — это определенная величина, в пределах которой окружающая среда (конкретная экосистема) способна поглощать, ассимилировать, трансформировать загрязнения и отходы, сохраняя устойчивость, продуктивность и основные функциональные свойства.

В настоящее время особую актуальность приобрела задача оценки ассимиляционного потенциала экосистем и их компонентов. Большое внимание уделяется прежде всего поглотительной и трансформирующей функции лесов в связи с перспективой их использования для ассимиляции CO_2 как одного из ведущих парниковых газов [1, 4, 6, 7, 11, 12].

При этом возрастает роль экономической оценки возобновляемых природных ресурсов. На уровне конкретных социоэколого-экономических систем задача экономической оценки ассимиляционной функции лесов приобретает особое значение, а способы ее решения обуславливают специфику формирования стратегии лесопользования региона.

Обзор основных подходов и методик к оценке ассимиляционного потенциала лесов по поглощению CO_2

Согласно методике Р. Ю. Александрова [2], база данных для комплексной оценки лесных экосистем должна включать: 1) характеристику леса как объекта оценки, 2) натуральные показатели всех лесных благ, 3) экономические эквиваленты натуральных показателей, 4) оценку лесных ресурсов и других полезных функций леса (средообразующей, средозащитной, рекреационной, информационной).

© Красуцкий Б. В., 2017

Натуральные показатели средообразующих функций «характеризуют лес, во-первых, как физическое тело с биометрическими показателями и, во-вторых, как живой организм со своими физиологическими, биохимическими и биофизическими процессами. Натуральные показатели социальных функций характеризуют конкретно лесные ландшафты и содержат, в том числе, данные по типам леса и преобладающим породам, ионизирующей способности, фитонцидности лесной растительности и др.» [2, с. 65].

В санитарно-гигиеническом аспекте «леса, ежегодно создавая новое органическое вещество, выделяют в атмосферу кислород, фитонциды, ионизируют воздух, поглощают пыль и шум, задерживают радиоактивные частицы» [2, с. 66]. Известно, что «на 1 тонну прироста сухой фитомассы в атмосферу выделяется 1,42 тонны кислорода; средний эквивалент (тонн кислорода на 1 тонну общего прироста) для сосняков — 1,45; для ельников — 1,44; березняков, осинников и дубняков — 1,37; луговых трав — 1,30; сфагновых мхов — 1,26. Эквивалент поглощения CO_2 при образовании 1 тонны древесины и листы равен 1,72—1,84; хвои сосны и ели — 1,89» [2, с. 167].

Также приводятся данные по поглощению углекислого газа и выделению кислорода при образовании 1 м³ фитомассы. Мягколиственные породы (а для нашего региона преобладающими породами из состава мягколиственных являются береза и осина) способны в наибольшей степени поглощать, ассимилировать выбросы загрязняющих веществ из атмосферного воздуха. В ходе исследований Р. Ю. Александрова показано, что больше всего выделяют кислород и поглощают углекислый газ лесные насаждения I—II классов бонитета.

В работе *Б. Г. Федорова* [14] показано, что действенным методом воздействия на баланс углекислого газа является, в частности, управление лесным фондом.

Оценка изъятия из атмосферы углекислого газа лесными биогеоценозами изменяется в широком диапазоне. Например, в таежных лесах годовая скорость связывания углерода оценивается от 0,8 до 2,4 т на 1 га в год, в увлажненных — от 0,7 до 7,5 т на 1 га в год, тропических — от 3,2 до 10 т на 1 га в год.

Автор замечает, что «выращивание лесопоглотителей углекислого газа обходится намного дешевле мероприятий по ограничению технологических выбросов при производстве продукции» [14, с. 91]. «В соответствии с разработанными российскими учебными программами работ по лесовосстановлению, защитным лесопосадкам и другим подобного рода лесохозяйственным мероприятиям, дополнительный эффект реализации на площади 5,3 млн. га состоит в ежегодном накоплении углерода российскими лесами в объеме 45 млн. тонн в год» [14, с. 92].

Согласно Киотскому протоколу, необходимо «определять на национальном уровне как запасы углерода в лесах, так и размеры годовой секвестрации CO_2 из атмосферы» [14, с. 92]. *Б. Г. Федоров* справедливо отмечает, что «суша улавливает углерод не только за счет растительности, но и почв, и даже снегов, причем в настоящее время накоплений углерода в почвах больше в 4 с лишним раза, чем в растительности, но абсорбирующие (накопительные и/или эмиссионные) свойства почв пока не включены в основном из-за недостаточной изученности всего почвенного разнообразия в систему оценок погложительных (накопительных и/или эмиссионных) способностей суши» [14, с. 92].

Федоровым представлены и данные о среднем удельном депонировании углерода в зависимости от региона. Так, в лесах Уральской части России депонирование углерода оценивается в 2 т CO_2 на 1 га в год; в Восточно-Сибирском регионе — 0,7 т CO_2 на 1 га в год, в лесах Западной Сибири и Дальнего Востока — 0,45 т CO_2 на 1 га в год. Молодые древесные растения ассимилируют углерод в 3—6 раз эффективнее средневозрастных и приспевающих деревьев [14, с. 93].

Методика профессора Кемеровского государственного университета *Г. Е. Мекуш* предполагает, что расчет поглотительной способности лесов производится с обязательным учетом 1) ведущих лесообразователей и 2) площади основных лесообразующих древесных пород. Зная возраст рубки, можно найти в среднем объем углекислоты, поглощенной конкретной лесообразующей породой за год.

Автор отмечает, что до 30—40-летнего возраста древесные растения наиболее эффективно «связывают углерод путем увеличения с каждым годом биомасс деревьев и добавлением опавших листьев в углеродное депо почвы» [11, с. 47].

По мере формирования экосистемы леса увеличивается количество органических веществ в почве и способность к поглощению углекислоты, а в состоянии климакса экосистема перестает работать на поглощение углекислого газа. Следовательно, спелые и перестойные леса в расчетах не должны учитываться.

Г. Е. Мекуш рассчитала ассимиляционный потенциал лесов Кемеровской области и показала, что при выбросах CO_2 в 15,3 млн. т/год общая поглотительная способность лесов составляет лишь 1,74 млн. т/год, а остальной CO_2 становится парниковым.

В работе *Л. П. Баранника (с соавт.)* [3] показано, что лесонасаждения создают особый фитомелиоративный природоохранный эффект, величина которого напрямую зависит от массы живого вещества. При образовании 1 тонны древесины поглощается 1,83 тонны CO_2 и выделяется в атмосферу 1,32 тонны кислорода. «Относительно точные величины кислородопродуцирования и поглощения углекислого газа можно получить суммированием текущего прироста древесины конкретных лесных участков, различающихся возрастом, составом, продуктивностью. Однако, учитывая малую величину продуцируемого лесами кислорода по отношению к его общей массе в атмосфере (1 : 22000), такая точность подсчета не является необходимой; достаточно определить порядок величин кислородопродуктивности и поглощения углекислого газа для общей оценки фитомелиоративных функций лесонасаждений» [3, с. 19].

Средний годовой прирост лесонасаждений составляет $8,2 \text{ м}^3$, а удельный вес древесины — 0,65. Перемножив средний прирост лесонасаждений на удельный вес и на площадь лесонасаждений, можно найти тот объем, в котором происходит продуцирование кислорода и ассимиляция углекислоты.

В работе *И. Л. Бухариной (с соавт.)* дается количественная оценка структуры запасов и схема баланса органического углерода в зеленой зоне г. Ижевска. Установлено, что большая часть органического углерода сосредоточена в биомассе лиственных пород, почти в 1,5 раза меньшая — в биомассе хвойных (62,8 т/га и 44,2 т/га соответственно). Авторы отмечают, что пик кислородопродуктивности (а значит, и наиболее высокие значения поглощения CO_2) у большинства видов древесных растений наблюдается в 40—60-летнем возрасте (это средневозрастные и припевающие растения) [4].

Д. Г. Замолодчиков указал, что по оценкам Национального кадастра парниковых газов управляемые леса Российской Федерации в среднем за 1990—2007 гг. поглощали около 90 млн. т углерода ежегодно, и подчеркнул, что Россия должна иметь возможность адекватного учета лесных стоков для компенсации собственных индустриальных выбросов, пусть без права продажи на международных углеродных рынках [7].

Некоторые приведенные выше примеры исследования проблемы оценки ассимиляционной функции лесов иллюстрируют, что она является чрезвычайно актуальной. Среди ученых пока нет единого и однозначного мнения по данной проблеме. Выводы, содержащиеся в разных работах, часто противоречат друг другу. Так, к примеру, *Г. Е. Мекуш* утверждает, что наибольший объем углекислого газа поглощают молодые

лесные насаждения (возраст до 30—40 лет), а И. Л. Бухарина, напротив, считает, что пик кислородопродуктивности древесных пород наступает в 40—60 лет.

Эти разногласия лишь свидетельствуют о том, что затронутая в работе проблема еще недостаточно изучена, но вызывает значительный интерес в научном мире. Этот интерес во многом обусловлен и тем, что, зная ассимиляционный потенциал конкретных экосистем, можно оценить полную экологическую емкость территории.

Учитывая довольно сходный породный и возрастной состав лесонасаждений Челябинской и Кемеровской областей, мы выбрали в качестве ведущей методiku профессора Г. Е. Мекуш [11], адаптировав ее к условиям Челябинской области.

Общая оценка ассимиляционной функции лесов Челябинской области по поглощению CO₂

На первом этапе для общей оценки ассимиляционного потенциала лесов по поглощению CO₂ применялась модифицированная методика Г. Е. Мекуш.

Массив исходных данных содержал следующие показатели (средние значения):

1. Крупными промышленными предприятиями области ежегодно выбрасывается в атмосферу около 64 млн. т CO₂ [10].

2. Транспорт обеспечивает поступление в атмосферу 9,5 млн. т CO₂ (собственный расчет).

3. При дыхании всех жителей области выделяется 0,86 млн. т CO₂ и паров воды (собственный расчет).

4. Общий запас древесины — 359,1 млн. м³. Из этого объема на долю лиственных пород приходится 221,98 млн. м³, на долю хвойных — 137,46 млн. м³ [10].

5. Объем спелых и перестойных:

- хвойных лесов — 18,15 млн. м³,

- лиственных лесов — 40,16 млн. м³ [10].

6. Коэффициент поглощения CO₂ хвойными породами составляет 0,5; лиственными — 0,3.

7. Ежегодные потери леса (гибель лесов из-за пожаров, болезней и др.) — 1006 га [10].

8. Площадь лиственных лесов, пораженных непарным шелкопрядом, — 100 000 га [8].

9. Вырубаемый запас древесины — 521 602 м³ [10].

10. Эквивалент поглощения CO₂ при образовании 1 тонны древесины и листвы составляет 1,72—1,84; хвои сосны и ели — 1,89 [2].

11. Поглощаемый объем CO₂ составляет:

- для сосны — 750 кг/м³,

- для ели — 700 кг/м³,

- для пихты — 700 кг/м³,

- для лиственницы — 700 кг/м³,

- для березы — 1600 кг/м³,

- для осины — 880 кг/м³ [11].

Необходимо также иметь в виду, что основную роль в ассимиляции выполняют молодые и средневозрастные древесные растения в период вегетации, а больше всего выделяют кислород и поглощают CO₂ насаждения I—II классов бонитета [2].

Для оценки ассимиляционного потенциала (АП) лесов Челябинской области по CO₂ аппроксимированы следующие формулы:

- для Челябинской области в целом:

$$АП_{лесов} = АП_{хв} + АП_{листв} - АП_{вырубл и погибш}$$

- для расчета ассимиляционного потенциала хвойных пород:

$$AP_{xв} = (M_{xв} - M_{сн и пер}) \cdot V_{xв} \cdot 0,5,$$

где $M_{xв}$ — общий запас древесины хвойных пород, м³; $M_{сн и пер}$ — запас спелой и перестойной древесины хвойных пород, м³; $V_{xв}$ — объем поглощения CO₂ определенной породой хвойных, кг/м³ в год;

- для лиственных пород:

$$AP_{лист} = (M_{лист} - M_{сн и пер} - M_{пор}) \cdot V_{лист} \cdot 0,3 + AP_{пор},$$

где $M_{лист}$ — общий запас древесины лиственных пород, м³; $M_{сн и пер}$ — запас спелой и перестойной древесины лиственных пород, м³; $M_{пор}$ — запас древесины, поврежденной непарным шелкопрядом в ходе вегетационного периода, м³; $AP_{пор}$ — объем углекислого газа, поглощенный древесиной, выбывшей из процесса ассимиляции из-за объедания листвы непарным шелкопрядом; $V_{лист}$ — объем поглощения CO₂ определенной породой лиственных, кг/м³ в год.

Для расчета ассимиляционного потенциала погибшей и вырубленной древесины:

$$AP_{вырубл и погибш} = (M_{вырубл} + M_{погибш}) \cdot V_{ср} \cdot k_{ср},$$

где $M_{вырубл}$ — объем вырубленной древесины, м³; $M_{погибш}$ — объем древесины, погибшей по причине пожаров и др., м³; $V_{ср}$ — средний объем поглощения CO₂, кг/м³ в год; $k_{ср}$ — средний коэффициент поглощения, ассимиляции углекислого газа для всех лесообразующих пород (пропорционально их долям).

Отметим, что представленные выше объемы поглощения углекислоты лесообразующими породами относятся ко всей их жизни (пункт 11 массива исходных данных). Нас же интересует объем поглощения углекислоты лесообразующими породами за год с учетом возраста рубки.

Средний возраст рубки, используемый в расчетах: сосна — 90 лет, ель — 110 лет, пихта — 90 лет, лиственница — 110 лет, береза — 65 лет, осина — 55 лет [11].

Тогда общий расчет выглядит следующим образом:

$$AP_{xв} = (137,46 - 18,15) \text{ млн. м}^3 \cdot 8,1 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}) \cdot 0,5 = 483,2 \text{ тыс. т}/\text{год};$$

$$AP_{лист} = (221,28 - 40,16 - 14,03) \text{ млн. м}^3 \cdot 23 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}) \cdot 0,3 + 14,03 \text{ млн. м}^3 \cdot 23 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}) \cdot 0,1 = 1185,2 \text{ тыс. т}/\text{год};$$

$$AP_{вырубл и погибш} = (521,6 + 153,7) \text{ тыс. м}^3 \cdot 18,2 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{год}) \cdot 0,3 = 3,7 \text{ тыс. т}/\text{год};$$

$$AP_{лесов} = 483,2 + 1185,2 - 3,7 = 1664,7 \text{ тыс. т}/\text{год}.$$

Следовательно, леса Челябинской области способны поглотить в течение года лишь 0,7 т CO₂ на 1 га площади, в то время как ежегодная эмиссия углекислого газа составляет 8,4 т на 1 га.

Экономическая (эксплуатационная и ассимиляционная) оценка лесов Челябинской области

По мнению академика В. И. Кашина, минимальная стоимость лесов России (как части национального богатства) составляет 63 трлн. долларов [8]. В соответствии с информацией сайта 24/7 Wall-Street, стоимость запасов древесины в нашей стране составляет 28,5 трлн. долларов.

Площадь лесов в Российской Федерации составляет 882 млрд. га, а запас древесины — 83 млрд. м³. Площадь лесов Челябинской области — 2,6 млн. га, запас древесины — 3,5 млн. м³ [10].

Используя соотношение площадей и запасов древесины в масштабах страны и области, можно получить приближенное значение эксплуатационной стоимости лесов Челябинской области. В среднем оно составляет 180 млн. долларов.

Но необходимо учесть, что срок восстановления и достижения спелости до повторной рубки составляет от 50 до 80 лет для лиственных пород и от 80 до 120 лет для хвой-

ных пород. Следовательно, рассчитанный общий доход можно получить в среднем один раз в 80 лет при ежегодном доходе 2,25 млн. долларов.

Углекислый газ имеет рыночную цену. Согласно общемировой динамике цен за 1 т CO₂ в период действия Киотского протокола средняя его цена составляет 10 долларов.

В таком случае ассимиляционный потенциал основных лесных экосистем Челябинской области по поглощению CO₂ составляет 1664,7 тыс. т в год, а его стоимость равна 16,7 млн. долларов в год. Но с экологической точки зрения правильнее будет сказать, что лесные экосистемы ежегодно приносят региону доход в размере 16,7 млн. долларов и этот ресурс, при условии сохранения лесов, неисчерпаем.

В случае эксплуатации лесов для заготовки древесины ежегодный доход не превысит 2,25 млн. долларов и это в 7,5 раза меньше ассимиляционной стоимости. Таким образом, экологическая функция леса явно преобладает над эксплуатационной не только в природоохранном смысле, но и в экономическом аспекте.

Представленный расчет относится лишь к одному веществу — углекислому газу, — который не считается загрязнителем, но вносит существенный вклад в теплосодержание атмосферы. Но леса способны поглощать, трансформировать, иммобилизовать и многие другие вещества, которые являются главными поллютантами в выбросах промышленных предприятий региона (сернистый газ, оксиды азота, фенол, бензапирен, тяжелые металлы, супертоксиканты и пр.). В результате «стоимость» средообразующей и средорегулирующей функции лесов области существенно увеличивается.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-06-00299а «Формирование модели управления хозяйственной деятельностью, обеспечивающей состояние социоэколого-экономической среды региона в границах устойчивости биосферы».

Список использованной литературы

1. Акимова Т. А., Кузьмин А. П., Хаскин В. В. Экология. Природа — Человек — Техника : учебник. М. : Экономика, 2007. 510 с.
2. Александров Р. Ю. Оптимизация геоэкологического мониторинга городских лесов : дис. ... канд. геогр. наук. М., 2004. 189 с.
3. Баранник Л. П., Николайченко В. П., Салагаев А. Ф., Егоров В. Н., Лузанов В. Г. Экологическое состояние лесов Кузбасса. Кемерово : КРЭОО «Ирбис», 2005. 136 с.
4. Бухарина И. Л., Ведерников К. Е., Двоеглазова А. А. Оценка экологического потенциала насаждений зеленой зоны г. Ижевска и возможные пути решения проблемы оптимизации городской среды // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Общие проблемы экологии. 2007. Т. 9, № 4. С. 1061—1067.
5. Даванков А. В., Красуцкий Б. В., Пряхин Г. Н., Седов В. В., Дегтярев П. Я., Гордеев С. С., Калинина Т. В., Постников Е. А., Бакеева О. У., Двинин Д. Ю., Кочеров А. В., Рипка Я. В., Федотов М. С., Юнусова Д. Р., Шеломенцев А. Г., Беляев В. Н., Котлярова С. Н., Илинбаева Е. А., Суворова И. В. Современные методологические подходы к междисциплинарным исследованиям территориальных социоэколого-экономических систем. Екатеринбург : Ин-т экономики УрО РАН, 2014. 133 с.
6. Даванков А. Ю. Социально-экономическая оценка природно-техногенных комплексов. Екатеринбург : УрО РАН, 1998. 232 с.
7. Замолодчиков Д. Г. Проблемы использования поглотительного потенциала лесов в Киотском протоколе и других климатических соглашениях // На пути к устойчивому развитию России : Бюлл. 2010. № 51. С. 9—15.
8. Кашин В. И. Природные ресурсы как часть национальных богатств России // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2009. № 5. С. 3—7.
9. Кокин А. В. Современные экологические мифы и утопии. СПб. : [Б. и.], 2008. 252 с.
10. Комплексный доклад о состоянии окружающей природной среды Челябинской области в 2015 году [Электронный ресурс] // Министерство экологии Челябинской области. URL: <http://mineco174.ru/media/kompleksnyye-doklady>.

11. Мекуш Г. Е. Опыт оценки ассимиляционного потенциала лесов Кемеровской области // На пути к устойчивому развитию России : Бюлл. 2010. № 51. С. 43—48.
12. Рыкалов В. О., Мекуш Г. Е., Трапезникова И. С., Буклова Е. М. Оценка ассимиляционного потенциала лесов Кемеровской области // Устойчивое природопользование: постановка проблемы и региональный опыт. М. : Ин-т устойчивого развития ; Центр экологической политики России, 2010. С. 156—184.
13. Седов В. В. Экономика и экология. Челябинск : Челяб. гос. ун-т, 1995. 158 с.
14. Федоров Б. Г. Экономико-экологические аспекты выбросов углекислого газа в атмосферу // Проблемы прогнозирования. 2004. № 5. С. 86—101.
15. Andrews J. E., Brimblecombe P., Jickells T. D., Liss P. S. An Introduction to Environmental Chemistry. London : Blackwell Science, 1996. 209 p.

Поступила в редакцию 21.07.2017

Красуцкий Борис Викторович, доктор биологических наук, доцент
Челябинский государственный университет
Российская Федерация, 454001, г. Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129
E-mail: boris_k.63@mail.ru

UDK 581.5(470.51-25)

B. V. Krasutsky

Assimilation function of forests in absorbing carbon dioxide in Chelyabinsk region

In accordance with modified G. E. Mekusch' methodology calculated the assimilation function of forests in Chelyabinsk region according to the absorption of carbon dioxide. It is shown, that forest ecosystems can absorb 0,7 tons CO₂ per 1 hectare every year, while annual emission of carbon dioxide is 8,4 tons per 1 hectare. In general, the assimilation potential of forests in Chelyabinsk region in the absorption of carbon dioxide is 1664,7 tons per year, and its cost is equal to 16,7 million dollars a year. Thus, the ecological functions of forests prevail over their operational functions, not only in the environmental sense, but also in the economic aspect.

Key words: forest ecosystems, carbon dioxide, assimilation function, research methods, economic evaluation of forests.

Krasutsky Boris Victorovich, Doctor of Biological Sciences, Associated Professor
Chelyabinsk State University
Russian Federation, 454001, Chelyabinsk, ul. Brat'yev Kashirinykh, 129
E-mail: boris_k.63@mail.ru

References

1. Akimova T. A., Kuz'min A. P., Khaskin V. V. *Ekologiya. Priroda — Chelovek — Tekhnika* [Ecology. Nature — Human — Technique]. Moscow, Ekonomika Publ., 2007. 510 p. (In Russian)
2. Aleksandrov R. Yu. *Optimizatsiya geoekologicheskogo monitoringa gorodskikh lesov: dis. ... kand. geogr. nauk* [Optimization of geoenvironmental monitoring of urban forests. Cand. Dis.]. Moscow, 2004. 189 p. (In Russian)
3. Barannik L. P., Nikolaichenko V. P., Salagaev A. F., Egorov V. N., Luzanov V. G. *Ekologicheskoe sostoyanie lesov Kuzbassa* [Ecological condition of forests of Kuzbass]. Kemerovo, KREOO "Irbis" Publ., 2005. 136 p. (In Russian)
4. Bukharina I. L., Vedernikov K. E., Dvoeglazova A. A. Otsenka ekologicheskogo potentsiala nasazhdenii zelenoi zony g. Izhevsk i vozmozhnye puti resheniya problemy optimizatsii gorodskoi sredy [Assessment of the ecological potential of plantations in the green zone of Izhevsk and possible solutions to the problem of optimizing the urban environment]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk. Obshchie problemy ekologii*, 2007, vol. 9, no. 4, pp. 1061—1067. (In Russian)
5. Davankov A. V., Krasutskii B. V., Pryakhin G. N., Sedov V. V., Degtyarev P. Ya., Gordeev S. S., Kalinina T. V., Postnikov E. A., Bakeeva O. U., Dvinin D. Yu., Kocherov A. V., Ripka Ya. V., Fedotov M. S., Yunusova D. R., Shelomentsev A. G., Belyaev V. N., Kotlyarova S. N., Ilinbaeva E. A., Suvorova I. V. *Sovremennye metodo-*

logicheskie podkhody k mezhdistsiplinarnym issledovaniyam territorial'nykh sotsioekologo-ekonomicheskikh sistem [Modern methodological approaches to interdisciplinary research of territorial socioeconomic and economic systems]. Ekaterinburg, In-t ekonomiki UrO RAN Publ., 2014. 133 p. (In Russian)

6. Davankov A. Yu. *Sotsial'no-ekonomicheskaya otsenka prirodno-tekhnogennykh kompleksov* [Socio-economic assessment of natural and man-made complexes]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 1998. 232 p. (In Russian)

7. Zamolodchikov D. G. Problemy ispol'zovaniya poglotitel'nogo potentsiala lesov v Kiotskom protokole i drugikh klimaticheskikh soglasheniyakh [Problems of using the forest's absorptive potential in the Kyoto Protocol and other climate agreements]. *Na puti k ustoichivomu razvitiyu Rossii: Byull.*, 2010, no. 51, pp. 9—15. (In Russian)

8. Kashin V. I. Prirodnye resursy kak chast' natsional'nykh bogatstv Rossii [Natural resources as part of Russia's national wealth]. *Ispol'zovanie i okhrana prirodnnykh resursov v Rossii*, 2009, no. 5, pp. 3—7. (In Russian)

9. Kokin A. V. *Sovremennye ekologicheskie mify i utopii* [Modern ecological myths and utopias]. St. Petersburg, 2008. 252 p. (In Russian)

10. Kompleksnyi doklad o sostoyanii okruzhayushchei prirodnoi sredy Chelyabinskoi oblasti v 2015 godu [Comprehensive report on the state of the environment of the Chelyabinsk region in 2015]. *Ministerstvo ekologii Chelyabinskoi oblasti* [Ministry of Ecology of the Chelyabinsk region]. Available at: <http://mineco174.ru/media/kompleksnye-doklady>. (In Russian)

11. Mekush G. E. Opyt otsenki assimilyatsionnogo potentsiala lesov Kemerovskoi oblasti [Experience in assessing the assimilation potential of forests in the Kemerovo Region]. *Na puti k ustoichivomu razvitiyu Rossii: Byull.*, 2010, no. 51, pp. 43—48. (In Russian)

12. Rykalov V. O., Mekush G. E., Trapeznikova I. S., Buklova E. M. Otsenka assimilyatsionnogo potentsiala lesov Kemerovskoi oblasti [Assessment of the Assimilation Potential of Forests of the Kemerovo Region]. *Ustoichivoe prirodoopol'zovanie: postanovka problemy i regional'nyi opyt* [Sustainable Nature Management: Statement of the Problem and Regional Experience]. Moscow, In-t ustoichivogo razvitiya, Tsentr ekologicheskoi politiki Rossii Publ., 2010, pp. 156—184. (In Russian)

13. Sedov V. V. *Ekonomika i ekologiya* [Economics and Ecology]. Chelyabinsk, Chelyab. gos. un-t Publ., 1995. 158 p. (In Russian)

14. Fedorov B. G. Ekonomiko-ekologicheskie aspekty vybrosov uglekislogo gaza v atmosferu [Economic and Environmental Aspects of Carbon Dioxide Emissions into the Atmosphere]. *Problemy prognozirovaniya*, 2004, no. 5, pp. 86—101. (In Russian)

15. Andrews J. E., Brimblecombe P., Jickells T. D., Liss P. S. *An Introduction to Environmental Chemistry*. London, Blackwell Science, 1996. 209 p.