

УДК 504.5/6(1/9)

Е.В. Попова*, Л.Д. Копытова, Л.С. Янькова, М.В. Оскорбина,
В.А. Осолков, И.В. Бычков, Г.Г. Суворова

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АССИМИЛЯЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье представлены результаты исследований фотосинтетической продуктивности трех видов хвойных, произрастающих на территории Иркутской области – сосны обыкновенной, ели сибирской и лиственницы сибирской. Оценена способность хвойных древостоев поглощать углекислый газ, выделяемый в процессе сжигания топлива. Установлено, что в отдельных районах Иркутской области хвойные не способны ассимилировать в процессе фотосинтеза весь техногенно выделяемый CO_2 .

Ключевые слова: хвойные древостои, фотосинтетическая продуктивность, теплоэнергетика, техногенные выбросы CO_2 , коэффициент эффективности газопоглотительной активности лесов.

Одной из актуальных экологических проблем современного периода является процесс потепления приземного слоя атмосферы, которое связывают с «парниковым эффектом». С целью определения наличия и темпов изменения климата на территории Иркутской области Л.Н. Ващук и А.З. Швиденко [1] провели анализ динамики климатических показателей за период 1960-2003 гг. и пришли к выводу, что изменчивость климатических показателей значительна и несколько увеличивается к концу рассматриваемого периода.

Озабоченность проблемой изменения климата выражена на межправительственном уровне, в частности, при заключении Рамочной конвенции ООН об изменении климата (1992 г.) и Киотского протокола (1997 г.).

В настоящее время, по общему мнению ученых, доминирующую роль в формировании парникового эффекта выполняет CO_2 [2]. Приблизительно три четверти увеличения атмосферной концентрации CO_2 в последние годы обусловлено сжиганием ископаемых видов топлива [3]. По данным Пятого национального сообщения ООН Российской Федерации, основной вклад в общий выброс парниковых газов принадлежит CO_2 , источником которого служит, главным образом, энергетический сектор, его доля в 2007 г. составила 81,5 % [4, 5].

По мнению МГЭИК и многих исследователей, по масштабам поглощения углерода, и особенно по длительности его депонирования, леса являются наиболее надежной системой предотвращения парникового эффекта планеты [2, 3, 6 – 9]. Особая роль принадлежит ле-

сам бореальной зоны, которые в глобальном масштабе в последние десятилетия рассматриваются как нетто-сток CO_2 [6, 10 – 14]. В зоне бореальных лесов сконцентрировано около четверти глобального запаса органического углерода почв и растительности [15]. В Иркутской области 80,5 % общей площади лесов занимают хвойные формации [1].

Таким образом, в настоящее время экологические функции лесных экосистем, и прежде всего, способность поглощать в процессе фотосинтеза атмосферный углерод, приобретают особую значимость и ценность. Одним из важнейших вопросов, в том числе в контексте Киотского протокола, является вопрос о количественном соотношении между техногенными выбросами CO_2 и CO_2 -ассимиляционным потенциалом лесов.

Целью данной работы было определение способности хвойных лесов поглощать в процессе фотосинтеза выбросы CO_2 от наиболее мощных предприятий энергетического сектора Иркутской области.

Объекты и методы исследований. Исследования углекислотного газообмена проводили на примере трех видов хвойных – сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) и ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), наиболее распространенных на территории Иркутской области и имеющих важное экологическое значение.

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – одна из основных лесобразующих пород таежной зоны Сибири [16]. Сосновые древостои занимают 16,6 млн. га, или 28,1 % покрытых

* - автор, с которым следует вести переписку.

лесом земель области. Благодаря уникальным физиологическим свойствам (морозостойкости, засухоустойчивости, неприхотливости к почвенно-грунтовым условиям), сосна представлена во всех лесорастительных зонах и административных районах области [1].

Лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) распространена в западных и центральных районах области, занимая более благоприятные лесорастительные условия – долины рек на хорошо прогреваемых, богатых и достаточно увлажненных почвах [1]. Лиственница сибирская хорошо приспособлена к суровым климатическим условиям, однако отличается наибольшим светолюбием среди основных древесных пород [17].

Леса с участием ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) занимают четвертое место среди хвойных древостоев (3,44 млн. га, или 5,8 %). В условиях Иркутской области ель расселяется, главным образом, вдоль рек и ручьев, где является преобладающей породой [1]. Ель сибирская обладает более широкой экологической амплитудой, выносит низкую температуру в северных и восточных районах, но в сухом климате становится менее конкурентоспособной и замещается другими видами [18].

Эксперименты по изучению фотосинтеза хвойных начинали со времени появления первых признаков положительного газообмена ранней весной (с первых чисел апреля) и заканчивали с завершением процесса в первой декаде ноября. Наблюдения продолжались круглосуточно, в течение трех дней каждой недели. В опытах использовали по три дерева каждого вида.

Использовались цилиндрические полиэтиленовые ассимиляционные камеры с каркасами из алюминиевой проволоки. На верхнем и нижнем концах камеры располагались входной и выходной штуцеры. Воздух проникал в камеру через входной штуцер, омывал хвою и через выходной штуцер по полиэтиленовым шлангам поступал на анализ. Свободные «рукава» камеры герметично фиксировались на побеге полосками эластичного бинта и изоляционной лентой. Камеры устанавливались в средней части крон с южной стороны. Использовались побеги с хвоей второго года жизни. Количество хвои в каждой ассимиляционной камере подбиралось с учетом методических подходов, разработанных ранее [19].

Поглощение углекислого газа охвоенными побегами регистрировали многоканальной

установкой, смонтированной на основе ИК-газоанализатора «Инфралит-4» («Junkolor», Германия) [19] на экспериментальном участке СИФИБР СО РАН, заложенном на окраине г. Иркутска в 1983 г.

Параллельно с исследованиями углекислотного газообмена и структуры хвои проводили наблюдения за факторами среды – температурой воздуха и почвы, падающей солнечной радиацией и влажностью воздуха, описывали погодные условия дня, измеряли количество осадков, определяли запасы влаги в почве.

Сформированная на основе исследований база данных фотосинтеза хвойных и факторов среды включена как информационно-телекоммуникационный ресурс в портал «Геосистемы и биоразнообразии Прибайкалья и Забайкалья».

Дневную фотосинтетическую продуктивность (количество ассимилированного за день CO_2) определяли как сумму всех часовых значений видимого фотосинтеза. Фотосинтетическую продуктивность хвои за месяц рассчитывали как произведение среднедневной фотосинтетической продуктивности, определяемой по числу экспериментальных дней, на количество дней в месяце. Сезонную (годовую) продуктивность фотосинтеза определяли как сумму продуктивности фотосинтеза за все месяцы вегетации.

Продуктивность фотосинтеза за вегетацию для деревьев данного возраста рассчитали исходя из данных о среднем возрасте [20] и классе бонитета хвойных древостоев Иркутской области (таблица 1). Абсолютно сухую массу хвои на 1 га для лиственницы приняли равной 2,6 т [21], для сосны и ели определили (с учетом коэффициентов перевода 0,78 и 0,48) равными 0,6 и 0,46 т соответственно [22].

Продуктивность фотосинтеза на территорию рассчитывали как произведение всей сухой массы хвои на территории (по данным лесхозов административных районов области [1]) на годовую фотосинтетическую продуктивность единицы (1 грамма) сухой массы хвои.

Коэффициент эффективности газопоглотительной (CO_2 -поглотительной) активности лесов представляет собой отношение количества техногенных выбросов CO_2 (в нашем случае от ТЭЦ и котельных) к поглощающей способности хвойных древостоев. В случае, если величина коэффициента эффективности

меньше или равна 1, это означает, что хвойные древостои данного района способны ассимилировать в процессе фотосинтеза весь техногенно выделяемый CO₂. Коэффициент больше 1 характеризует снижение способности хвойных лесов поглощать промышленно выделяемый CO₂.

Результаты и обсуждение

Значения коэффициента эффективности газопоглощительной активности хвойных лесов были рассчитаны по данным 2008-2010 гг. Экспериментальные значения продуктивности видимого фотосинтеза представлены в таблице 2.

Анализ данных, приведенных в таблице 2, показывает, что в зависимости от условий вегетационного сезона фотосинтетическая продуктивность за исследуемые годы изменяется незначительно – до 1,2 раза, так как этому периоду соответствовали в целом оптимальные условия увлажнения. Наибольшей ассимиляционной способностью характеризуется лиственница, что соответствует исследованиям ученых. Так, еще Л.А. Ивановым (1936) было установлено, что лиственница обладает способностью энергичнее всех древесных пород «перерабатывать» углекислоту. В условиях полного освещения количество связанной

углекислоты, приходящейся на 1 кг массы хвои, у ели и сосны составляет соответственно 39 и 75 % по отношению к аналогичному показателю у лиственницы [3]. Однако в наших исследованиях показано, что в отдельные благоприятные по увлажнению годы ель обладает большей ассимиляционной способностью по сравнению с сосной на 45-55 %.

Для определения потенциального стока углерода в хвойные древостои на территории Иркутской области нами были приняты следующие допущения: 1) фотосинтез хвойных протекает относительно одинаково на всей территории области; 2) средний возраст древостоев области соответствует одному классу возраста 100-120 лет (таблица 1); 3) климатические условия на территории примерно однородны.

Годичная фотосинтетическая продуктивность была рассчитана для хвойных древостоев, произрастающих на территории девяти основных промышленно развитых районов Иркутской области (Ангарский, Братский, Зиминский, Иркутский, Нижнеилимский, Усольский, Усть-Илимский, Черемховский, Шелеховский). Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 1

Средние таксационные показатели хвойных древостоев на территории Иркутской области (цит. по [24])

Порода	Возраст, лет	Класс бонитета
Сосна	107	3
Лиственница	126	4
Ель	116	4

Таблица 2

Годичная продуктивность фотосинтеза хвойных древостоев в 2008-2010 гг.

	Продуктивность фотосинтеза, т CO₂ га⁻¹		
	<i>сосна</i>	<i>ель</i>	<i>лиственница</i>
2008 г.	9,73	21,45	29,06
2009 г.	10,96	20,13	26,12
2010 г.	10,90	24,30	23,65

Было определено, что суммарное поглощение углекислого газа хвойными по исследованным районам изменяется в интервале от

0,6·10⁶ до 30,3·10⁶ т CO₂. Наибольшие значения фотосинтетической активности лесов характерны для Усть-Илимского, Нижнеилим-

ского и Братского районов, поскольку они относятся к пяти самым лесистым районам области. Процентное соотношение сосновых, еловых и лиственничных древостоев в них примерно одинаковое, однако преобладают сосновые древостои, и значительно меньше еловых. Существенных колебаний фотосинтетической продуктивности за исследуемый период по районам не отмечается.

Как отмечалось выше, основной вклад в общий выброс техногенного CO₂ вносит энер-

гетический сектор. Главный производитель электроэнергии в Иркутской области – Иркутское открытое акционерное общество энергетики и электрификации (ОАО «Иркутскэнерго»). Компанией «Иркутскэнерго» для данного исследования были предоставлены данные о количестве выбросов CO₂ от девяти ТЭЦ и одной котельной, находящихся в их ведомстве и расположенных в разных административных районах Иркутской области.

Таблица 3

Фотосинтетическая продуктивность хвойных древостоев за период 2008-2010 гг.

Административные районы	Фотосинтетическая продуктивность, т CO ₂		
	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Ангарский	567 056,88	614 079,35	614 098,81
Братский	16 312 329,99	16 732 284,76	16 490 092,95
Зиминский	1 714 508,23	1 820 066,93	1 801 626,47
Иркутский	681 169,85	748 889,95	744 305,92
Нижнеилимский	21 080 789,96	20 645 131,77	20 909 250,22
Усольский	1 402 930,00	1 497 606,27	1 487 461,22
Усть-Илимский	30 259 955,53	29 774 622,89	29 533 169,73
Черемховский	900 375,60	944 991,90	943 629,59
Шелеховский	728 990,08	742 360,88	720 819,10

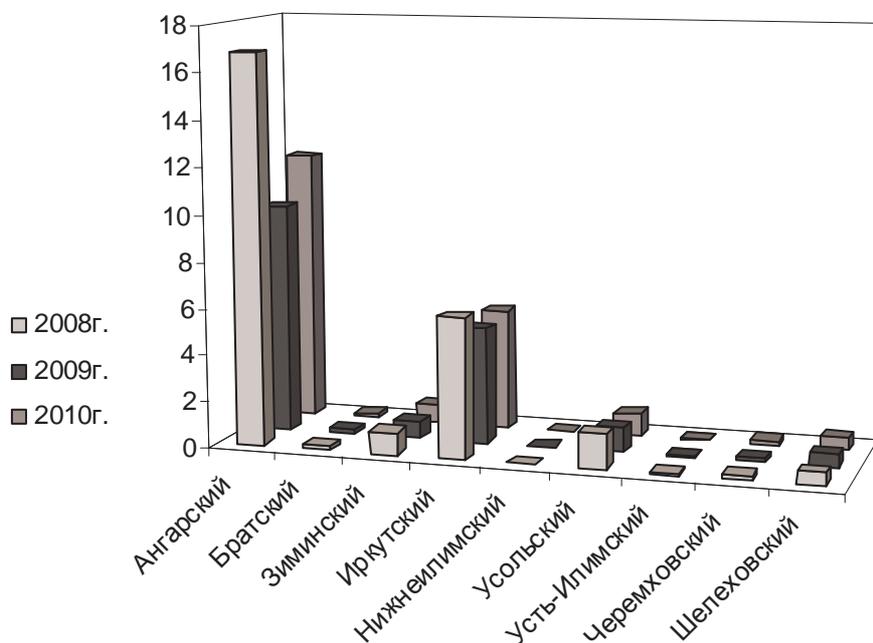


Рис. 1. Значения коэффициента эффективности газопоглощительной активности хвойных лесов в районах Иркутской области.

Результаты анализа показывают, что в целом за исследуемый период (2008-2010 гг.) отмечается тенденция к снижению выбросов CO₂. В 2009-2010 гг. количество выделяемого

диоксида углерода было сравнительно одинаковым, но по отношению к 2008 г. выявлено сокращение объема выбросов CO₂ в большинстве районов на 1-36 %. Наибольшее ко-

личество техногенного CO₂ отмечено в Ангарском, Иркутском и Братском районах. В Ангарском районе объем выбросов CO₂ превосходил объемы по другим районам в 1,5-55 раз в 2008 г. и в 1,6-39 раз в 2009-2010 гг.

Далее был рассчитан коэффициент эффективности газопоглощительной активности лесов (КЭГАЛ). Результаты расчета представлены на рис. 1.

В шести районах значения коэффициента варьируются в интервале от 0,01 до 0,96, т. е. в данных районах области хвойные леса способны ассимилировать весь CO₂, выделяемый в процессе сжигания топлива на предприятиях ОАО «Иркутскэнерго». В трех районах (Ангарский, Иркутский, Усольский) значения коэффициента больше единицы, что говорит о неспособности хвойных древостоев полностью поглощать весь CO₂. В Усольском районе значение коэффициента немного выше 1, что связано с невысокой продуктивностью хвойных и значительными объемами выбросов. В 2010 г. значение коэффициента снизилось до 0,97 в результате постепенного сокращения выбросов углекислого газа. В зависимости от года исследования, значения коэффициента в Ангарском районе составили 10-17, в Иркутском – 5-6. Для данных районов характерны наибольшие объемы выбросов и одни из самых низких значений фотосинтетической продуктивности по области. Таким образом, можно констатировать, что в данных районах существует необходимость увеличения площади лесных насаждений для биологической фиксации выбросов углекислого газа.

В настоящее время определение способности лесных экосистем бореальной зоны поглощать выбросы углекислого газа приобретают особую значимость и ценность. Коэффициент эффективности газопоглощительной (CO₂-поглощительной) активности лесов (КЭГАЛ) дает количественную оценку ассимиляционной способности лесов. На основе определения значения КЭГАЛ мы имеем возможность рекомендовать административным и хозяйственным организациям, в частности на территории Иркутской области, проведение лесовосстановительных и лесопосадочных мероприятий для выравнивания дисбаланса «техногенный/фотосинтетический CO₂» и повышения защитной функции хвойных лесов.

• Работа выполнена при поддержке Программы грантов Президиума РАН № 26Б.3.31 и Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН № 121.

Литература

1. Ващук Л.Н., Швиденко А.З. Динамика лесных пространств Иркутской области. Иркутск: Иркут. обл. типография №1, 2006. 392с.
2. Шутов И.В., Рябинин Б.Н. Лесная политика в условиях изменяющегося климата // Лесная газ. 2008. № 66.
3. Щепашенко Д.Г., Швиденко А.З., Шалаев В.С. Биологическая продуктивность и бюджет углерода лиственных лесов Северо-Востока России: моногр. М.: Моск. гос. ун-т леса, 2008. 296 с.
4. Пятое национальное сообщение Российской Федерации, представленное в соответствии со статьями 4 и 12 Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата и ст. 7 Киотского протокола /под ред. Ю.А. Израэля [и др.]; М-во природных ресурсов и экологии Рос. Федерации; Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. М., 2010. 196 с.
5. Состояние и загрязнение окружающей среды в Российской Федерации за 2007 г.: обзор / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. М., 2008. 164 с.
6. Коровин Г.Н. Проблемы реализации Киотского протокола в Российском лесном секторе // Роль механизмов Киотского протокола в развитии лесо- и землепользования в России: семинар. М., 2005. 24 с.
7. Carbon pools and flux of global forest ecosystems / R.K. Dixon, S. Brown, R.A. Houghton [et al.] // Science. 1994. Vol. 263 (1544). P. 185-190.
8. IPCC: Climate change 2001: The scientific bases. Contribution on working group I to the third assessment report of the Intergovernmental panel of climate change / J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs [et al.]. UK, Cambridge and NY, USA: Cambridge Univ. Press, 2001. 881 p.
9. IPCC: Climate change 2007; The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental panel of climate change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Avert, M / Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge Univ. Press; Cambridge, United Kingdom; New York, NY, USA, 2007. 996 p.

10. Houghton R.A. Terrestrial carbon storage: Global lessons for Amazonian research // *Ciencia e Cultura Journal*. 1997. № 12. P. 146-152
11. Цена экологических услуг России / К.Я. Кондратьев, К.С. Лосев, М.Д. Ананичева, И.В. Чеснокова // *Вест. Рос. акад. наук*. 2003. Т. 73. № 1. С. 3-13.
12. Contribution of temperate forests to the world's carbon budget / L.S. Heath, P.E. Kauppi, P. Burschel et al. // *Water, air and soil pollution*. 1993. № 70 (1-4). P. 55-69.
13. Sedjo R.A. Temperate forest ecosystems in global carbon cycle // *Ambio*. 1992. Vol. 21(4). P. 274-277.
14. Forests carbon sinks in the Northern Hemisphere / Ch.L. Goodale, M.J. Apps, R.A. Birdsey [et al.] // *Ecol. Appl.* 12(3). 2002. P. 891-899.
15. Forest area and area change // *Global forest resources assessment 2000 – Main report*. 2001. Vol. 140. P. 1-15.
16. Правдин Л.Ф. Ель европейская и ель сибирская в СССР. М.: Наука, 1975. 176 с.
17. Попов Л.В. Южнотаежные леса Средней Сибири. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1982. С. 52–60.
18. Пузаченко Ю.Г., Сиунова Е.В. Построение и обновление почвенной карты на основе дистанционной информации (Landsat 7) и трехмерной модели рельефа // *Экология в современном мире: взгляд научной молодежи: материалы Всерос. конф. Улан-Удэ: Изд-во ГУЗ РЦМП МЗ РБ, 2007. С. 301-308*
19. Щербатюк А.С. Многоканальные установки с CO₂-газоанализаторами для лабораторных и полевых исследований // *Инфракрасные газоанализаторы в изучении газообмена растений: сб. науч. ст. М.: Наука, 1990. С. 38–54.*
20. Суворова Г.Г. Фотосинтез и рост хвойных лесостепного Предбайкалья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск, 1992. 19 с.
21. Алексеев В.Н., Берси Р.А. Углерод в экосистемах лесов и болот России. Красноярск: Ин-т Леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 1994. 218 с.
22. Лесотаксационный справочник / Б.И. Грошев, С.Г. Сеницын, П.И. Мороз, И.П. Сергеевич. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 288 с.
23. Лонг С.П., Холлгрэн Д.Е. Измерение ассимиляции CO₂ растениями в полевых и лабораторных условиях // *Фотосинтез и биопродуктивность: методы определения: сб. науч. ст. М., 1989. 115 с.*

УДК 630.7

А.П. Мохирев*, П.А. Егармин

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ОСВОЕНИЯ ЛЕСНОГО ФОНДА

Разработана система, основанная на нескольких компьютерных программах и ГИС-технологиях, оптимизирующая процесс освоения лесного фонда. Программы оптимизируют лесозаготовительные, транспортные и лесохозяйственные процессы.

Ключевые слова: схема лесных дорог, геоинформационные системы, экономическая доступность лесного фонда, планирование освоения лесного фонда, лесной фонд, лесные дороги, план рубок.

Актуальность темы. Лесозаготовительная деятельность после кризиса 90-х переживает не лучшие времена: все деньги бизнеса и государства брошены на освоение ресурсов, которые более востребованы и быстрее окупаются. Кроме того, обезлесенные европейские территории России, варварские вырубki беспokoят экологов, а они, в свою очередь, создают дополнительные препятствия для эф-

фективной заготовки леса. Все эти факторы не позволяют эффективно развивать лесозаготовительную деятельность. Рациональное, неистощимое и непрерывное лесопользование требует больших вложений для создания инфраструктуры. Отсутствие полноценной инфраструктуры для освоения лесного фонда сегодня одна из ключевых проблем в лесозаготовительной отрасли.

* - автор, с которым следует вести переписку.