

УДК 630.1

РОЛЬ ЛЕСОВ В УГЛЕРОДНОМ БАЛАНСЕ ПЛАНЕТЫ

В.А. Кудрявцев

В работе рассмотрено влияние лесных экосистем, антропогенной деятельности на состояние атмосферы, глобальное потепление климата в конце прошлого века. На основании научных данных зарубежных (главным образом американских) экологов и лесоведов приводятся механизмы взаимодействия загрязнителей атмосферы и лесных экосистем, а также некоторые прогнозы состояния окружающей среды, углеродного баланса и климата на планете до 2020 года.

С древних времен лес как составляющая природной среды играл для человечества важную

(если не главную) роль в формировании хозяйственного уклада, быта, нравов и даже государствен-

ности, например в России. Лес служил самым надежным и почти единственным убежищем от внешних врагов, заменяя русскому человеку горы и замки. Например, костромской крестьянин Иван Сусанин, используя лес как природный лабиринт, неведомый чужестранцам, завел польских интервентов в гибельные непроходимые болота. Лесовод Н.К. Генко защитил самарские черноземы на сотни лет от суховея и метелей путем полосного разведения леса в степи. Однако, если в прошлом лес защищал, кормил и одевал человека, то в настоящее время он сам нуждается в защите и лечении.

Технократический XX век оставил людям третьего тысячелетия загрязненные реки, воздух, засоленные почвы, низкопродуктивные вторичные леса и сплошные вырубki, это характерно и для Костромской области. Поэтому важно рассмотреть факторы, лежащие в основе этих неблагоприятных воздействий на природную среду в целом и на лес в частности.

Анализ зарубежных литературных источников позволяет сделать выводы, что содержание двуокиси углерода в атмосфере на конец прошедшего столетия увеличивалось со скоростью $1,8 \cdot 10^3$ мкг/м³ в год [1]. Находящиеся в атмосфере 700 млн т углерода в форме двуокиси ежегодно пополняются 2,3 млн т, что означает 3% прироста в десятилетие [1]. Антропогенное сжигание ископаемого топлива составляет в атмосферу ежегодно 5 млн т углерода [3]. Такое же количество углерода может поступать за счет сведения лесов и разрушения почв. Около 75% углерода из всех источников удаляется эффективными механизмами поглощения, причем самым важным из них считается океан; потенциальный вклад вносит и растительность. Деятельность человека приводит к повышению концентрации окиси и двуокиси углерода в атмосфере. Окись углерода обладает потенциальной токсичностью для млекопитающих, двуокись углерода представляет интерес из-за своей способности оказывать влияние на температуру земной поверхности.

По оценкам тщательного мониторинга, проведенного в 1985 г. на Гавайях, Аляске, в Швеции, Австралии и на Южном полюсе концентрация двуокиси углерода составляла $6,0 \cdot 10^5$ мкг/м³. Однако в 1977–1978 гг. количество двуокиси углерода возросло на $2,7 \cdot 10^3$ мкг/м³ [1]. При сохранении таких темпов роста к 2020 г. содержание двуокиси углерода в атмосфере может удвоиться по сравнению с сегодняшней величиной [3, 10]. По данным Вудвелла [10] в атмосфере содержится $700 \cdot 10^{15}$ г углерода в виде CO₂, земная биота включает $800 \cdot 10^{15}$ г редуцированного углерода, органика почвы (гумус, торф) содержит $1000\text{--}3000 \cdot 10^{15}$ г углерода. Самый большой пул углерода сосредоточен в мировом океане – $40000 \cdot 10^{15}$ г.

Между биотой и поверхностными водами океана происходит постоянный, решающий по своей важности обмен углерода в форме диоксида углерода. Общее поступление двуокиси углерода в атмосферу за счет растительности близко к нулю (равновесие).

Поступление CO₂ за счет лесных пожаров, разложения органического вещества и дыхания растений сбалансировано усвоением двуокиси углерода в процессе фотосинтеза, осуществляемого растительностью. Однако в условиях повсеместного и быстрого сведения лесов равновесие может быть нарушено.

Сера поступает в атмосферу из антропогенных и природных систем в количествах, приблизительно равных $50\text{--}70 \cdot 10^{12}$ г в год [1]. Двуокись серы и сульфаты относятся к примесям атмосферы, которые представляют первостепенный интерес для специалистов здравоохранения, охраны растительности и окружающей среды. Это объясняется их ролью в увеличении кислотности осадков, также серосодержащие примеси оказывают главное воздействие на сельскохозяйственные и лесные экосистемы. Для круговорота серы характерно то, что в поступлении серных соединений в атмосферу природные экосистемы играют более важную роль, чем антропогенная деятельность.

Продукты, качественно влияющие на воздух планеты: окислы азота и аммиак выделяются почвами в больших количествах. Значительное число почвенных бактерий и грибов продуцируют аммиак в процессе минерализации гумуса. Кислый pH, низкие температуры, низкий уровень испарения и высокая емкость катионного обмена, присущие многим почвам умеренных лесов, не способствуют выделению аммиака, однако установлено [4], что почвы соснового, дубового лесов и лугов выделяют в среднем соответственно 3,4; 2,6 и 1,8 кг аммиака с 1 га за неделю. Но лесные почвы не играют доминирующей роли в продуцировании этих газов, однако размеры лесных экосистем позволяют сделать эти выбросы сопоставимыми с выбросами сельскохозяйственных угодий. Кроме указанных веществ, леса выделяют в атмосферу углеводороды и твердые частицы (аэрозоли). Естественные и антропогенные пожары также ведут к выделению углеводородов, твердых примесей и окислов углерода. Алифатические насыщенные и этиленовые ненасыщенные углеводороды также в числе других углеводородов выделяются лесными экосистемами, причем последние, как и все ненасыщенные органические газы, химически активны, и многие из них являются опасными загрязнителями атмосферы. В загрязненном городском воздухе содержится свыше 100 различных углеводородов,

самыми активными из них являются олефины. В целом на Земле благодаря естественным биологическим процессам в атмосферу поступает во много раз больше летучих органических газов, чем вследствие человеческой деятельности.

Принято считать, что первым результатом увеличения концентрации двуокиси углерода в атмосфере планеты станет потепление климата. Однако очевидно, что последствия даже незначительного глобального потепления окажут серьезное влияние на развитие лесных экосистем. Такие процессы, как фотосинтез, транспирация, дыхание и плодоношение чрезвычайно чувствительны к температурным колебаниям. При потеплении интенсивность дыхания и процессов распада могут превысить фотосинтетическую продуктивность. Увеличение транспирации и испарения могут оказать стрессовое воздействие на растения в сухих местобитаниях. Вследствие изменений в динамике популяций насекомых, распространяющих пыльцу, или из-за выживаемости семян может измениться и характер размножения. Важно учитывать и возможное расширение географических ареалов обитания экзотических микробиологических патогенов или насекомых, причем безвредные эндемические микроорганизмы и насекомые после потепления могут получить статус опасных вредителей.

Первичные лесные эмиссии в региональном масштабе могут превратиться во вторичные примеси атмосферы, которые играют определенную роль в синтезе озона, причем химия синтеза окислителей чрезвычайно сложна, и, если в атмосфере присутствуют углеводороды, альдегиды и другие активные соединения, то они могут образовывать пероксирадикалы, которые окисляют окись азота до двуокиси. С уменьшением количества доступной окиси азота свободный озон, не вступивший в реакцию с ней, накапливается в довольно высоких концентрациях [5].

Многими видами древесных пород выделяются неоднородные по составу терпены; их состав жестко регулируется генетическими механизмами. В США Расмуссен [8] представил данные, подтверждающие о принадлежности изопрена к числу важных элементов эмиссий леса в атмосферу еще в то время, когда царила полная неопределенность во мнениях относительно роли гемитерпена как производного изопрена. С участием Расмуссена было установлено, что многие покрытосемянные и некоторые голосемянные растения выделяют изопрен. В отличие от монотерпенов изопрен выделяется листвою только на свету.

Биота, помимо терпенов, способна выделять в атмосферу и другие углеводороды. В период цветения и созревания плодов многие покрытосемянные выделяют этилен. В США известно еди-

ничное наблюдение, подтверждающее, что этилен в определенных условиях может выделяться и голосеянными. Метан в неактивной форме поступает из анаэробных экосистем в результате деятельности метаногенных бактерий [1]. Эти организмы обычно считаются характерными для длительно заболоченных участков.

Помимо углеводов и прочих химических соединений, лесными экосистемами выделяются твердые примеси (аэрозоли). К их числу относятся пыльца некоторых деревьев, являющаяся опаснейшим загрязнителем воздуха. Время и механизм раскрытия пыльников, последующий выброс пыльцы не одинаковы у представителей различных семейств. Так, выброс у голосемянных происходит после отделения спорофиллов шишечек. Вызванное обезвоживанием стягивание кроющих чешуек высвобождает пыльцу, которая затем разносится ветром. У покрытосемянных высвобождение пыльцы происходит при раскрытии стенок гнезда пыльника. Кроме ветра, пыльца этих растений может разноситься птицами, летучими мышами и насекомыми. Пыльца древесных растений, фрагменты ядов насекомых и рептилий, споры грибов, пыль, перья и шерсть животных, кровососущие членистоногие представляют целый ряд аллергенов, которые вызывают у людей болезненную реакцию.

Углеводороды могут создавать в атмосфере твердые органические соединения при условии их соответствующей концентрации, активности газовой фазы и предпосылок к образованию веществ с физическими характеристиками, необходимыми для превращения газа в аэрозоль. Наиболее важный класс предшественников органических аэрозолей в городах представляют циклические олефины, например циклопентен [6]. О том, что в роли предшественников органических аэрозолей могут выступать терпеноиды растений, в США первым высказал предположение Вент. Несколько позднее он подсчитал, что органические газообразные вещества растительного происхождения могут способствовать образованию 500 млн т субмикроскопических частиц, ежегодно поступающих в атмосферу планеты. Дополнительные данные подтвердили предположение о том, что активация терпенов ведет к их объединению фотохимическим путем в мельчайшие частицы. Терпены, в частности α -пинен, выделяемые листвою деревьев, могут вступать в реакции с образованием субмикронных частиц в атмосфере. Данные о производстве, переносе и времени нахождения этих частиц в естественных условиях ограничены, а их роль в образовании дымки над лесными территориями не совсем ясна, но, вероятно, достаточно серьезна.

При сгорании естественных лесов и валежа лесные экосистемы поставляют в атмосферу раз-

личные загрязнители. При локальных и региональных лесных пожарах в атмосферу поступают загрязнители в форме частиц, углеводородов и окислов углерода, а также окислы азота и озон. В последние годы вследствие совершенствования методов борьбы с пожарами привнос загрязнителей в атмосферу несколько сократился. Однако выжигание тропических лесов ведется в широких масштабах и может иметь серьезные последствия для качества воздуха всей планеты.

В глобальном масштабе величина поступления окиси углерода от лесных пожаров колеблется в пределах $11 \cdot 10^6$ [1] – $6 \cdot 10^7$ т в год [7]. По

оценкам Вонга, общий приближенный привнос двуокиси углерода в атмосферу планеты составляет $5,7 \cdot 10^9$ т углерода в год [9].

Многочисленные модели оценки глобального повышения температуры в расчете на удвоение количества двуокиси углерода указывают на возможное потепление в пределах 0,7–9,6 °C [1]. Несмотря на значительную неопределенность этих данных, по-видимому, можно заключить, что в начале 2000-х гг. средняя температура на Земле выйдет за пределы значений, известных людям в течение последних 1000 лет [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смит У.Х. Лес и атмосфера / Уильям Х. Смит ; пер. Н. Н. Наумовой ; под ред. А. С. Керженцева. – М. : Прогресс, 1985.
2. Fate of fossil fuel carbon dioxide and the global carbon budget / W. S. Broecker, T. Takahashi, H. J. Simpson, T. H. Peng // Science. – 1979. – № 206. – P. 409–418.
3. Ember L.R. Global environmental problems: Today and tomorrow / L. R. Ember // Environ. Sci. Technol. – 1978. – № 12/ – P. 874–876.
4. Kim C.M. Influence of vegetation types on the intensity of ammonia and nitrogen dioxide liberation from soil | C. M. Kim // Soil Biol. Biochem. – 1973. – № 5. – P. 163–166.
5. Mauqh T.H. Air pollution: Where do hydrocarbons come from? / T. H. Mauqh // Science. – 1975. – № 189. – P. 277–278.
6. Ozone and Other Photochemical Oxidants / National Akademi of Sciences.. – Washington, D.C., 1977. – 717 p.
7. Seiler W. The cycle of atmospheric CO / W. Seiler // Tellus. – 1974. – № 26. – P. 116–135.
8. Rasmusen R.A. Terpenes: Their analisis and fate in the ftmosphere. Ph. D. : tesis / R. A. Rasmusen. – Washington : Univ., St. Louis, Missouri, 1964.
9. Wong C.S. Atmospheric input of carbon dioxide from burning wood / C. S. Wong // Science. – 1978. – № 200. – P. 197–200.
10. Woodwell G.M. The carbon dioxide question / G. M. Woodwell. – Sci. Amer. – 1978. – № 238. – P. 34–43.

V.A. Kudryavtzev

FOREST ROLE IN PLANET CARBON BALANCE