

Запасы терпеноидных соединений в сосновых лесах Красноярской лесостепи

Р. А. СТЕПЕНЬ, С. М. РЕПЯХ

Сибирский государственный технологический университет
660049 Красноярск, просп. Мира, 82

АННОТАЦИЯ

Показано, что основными компонентами летучих выделений хвойных лесов, активно участвующих в круговороте веществ, являются терпеноидные соединения. Исследованы запасы этих веществ в древесинах, воздушной среде и почве сосновых лесов. Количество эфирного масла составляет в среднем в фитоценозах 200, в том числе в опаде и лесной подстилке 23 кг/га. Эмиссия терпеноидов в сосновых лесах в зависимости от возраста и других причин варьирует в пределах 36–86 кг/га. Вместе с выпадением этих веществ и иными поступлениями общая годовая масса терпеноидов почвы оценивается в 65–80 кг/га, что составляет 2–3 % от количества гумусовых веществ.

Терпеноиды играют важную роль в жизнедеятельности растений и человека. Они участвуют в синтезе хлорофиллов, каротиноидов и других жизненно важных компонентов [1]. Велика их роль в средообразовании, с которым связано существование человека, и в эволюции биосферы [2, 3]. Высоки потребительские свойства терпеноидов, в связи с чем они широко используются во многих хозяйственных областях [4]. Существенна их значимость в почвообразовательных процессах [5]. Исследование круговорота терпеноидов во всех частях биосферы весьма актуально.

В настоящем сообщении анализируются результаты исследования содержания и состава летучих терпеноидов или их производных в биомассе основных органов дерева, воздушной среде и почве сосновых фитоценозов Средней Сибири и изменчивости этих показателей под влиянием ряда биоценологических факторов.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Основные исследования проводили в сосняках бруснично-разнотравных естественного

происхождения на территории экспериментальной базы Института леса СО РАН “Погорельный бор”, расположенной в 39 км к северу от г. Красноярска [6]. Летучие терпеноиды охвоенных побегов и других частей сосны и растительных остатков выделяли гидродистилляцией, их выход определяли волюмометрически с учетом растворения во флорентинной воде и пересчетом на абсолютно сухое сырье. Экзометаболиты сосновых лесов улавливали адсорбционным способом, их концентрацию в воздушной среде находили химическим путем [4]. Компонентный состав выделенных препаратов изучали методом ГЖХ. При установлении участия терпеноидов в синтезе гуминовых кислот почв сравнивали ИК-поглощение осмолившихся в естественных условиях экзометаболитов и этих веществ [7].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наиболее насыщены эфирным маслом охвоенные побеги. У приспевающих деревьев хвоя богаче терпеноидами, чем обесхво-

Содержание компонентов эфирного масла и летучих терпеноидов сосняков, %

Основные компоненты	Эфирное масло	Летучие терпеноиды
α-Пинен	26,3	33,5
Камфен	7,8	13,3
β-Пинен	10,3	3,1
Мирцен	6,9	4,4
3-Карен	11,3	9,4
Лимонен + β-фелландрен	12,1	8,3
Другие	2,1	11,1
Всего монотерпеновых углеводов	76,8	83,1
Фенхон	4,4	1,5
γ-Терпинеол	0,4	1,4
Борнеол	0,9	1,2
Борнилацетат	2,7	1,6
Терпинилацетат	0,8	0,6
Другие	0,7	8,1
Всего кислородсодержащих веществ	9,9	14,4
Лонгифолен	1,6	1,1
Кариофиллен	2,7	0,4
β-Бизаболен	4,1	0,3
α-Муролен	4,3	0,2
Другие	0,6	0,4
Всего сесквитерпеноидных соединений	13,3	2,5

енные побеги. У молодняков обратная зависимость. В целом эфирное масло примерно одинаково распределено между охвоенными побегами и стволом, хотя его концентрация в них существенно различается. Содержание терпеноидов в ствольной части 0,1–0,3 %, в вегетативных органах – 0,5–1,2 % от абс. сухой массы. В годичной динамике летучих терпеноидов охвоенных побегов проявляются два максимума: весенний – в мае и основной – в сентябре. Начиная с октября и до конца марта происходит убыль масла. Затем, после небольшого подъема, его доля вновь уменьшается из-за расхода пластических веществ на рост и развитие хвои и формирование смоляных ходов. И в завершение происходит накопление эфирного масла до достижения им максимального уровня.

Насыщенность ствольной массы терпеноидами незначительна, а ее варьирование подобно изменчивости эфирного масла в охвоенных побегах: минимум отмечается в июне, максимум – в сентябре. Запасы терпеноидов древостоя за этот период повышаются в 1,5 раза.

Определение содержания эфирного масла в органах дерева и в растительных остатках позволяет количественно оценить ресурсы летучих терпеноидов в биомассе сосня-

ков, т. е. на начальном этапе круговорота их углерода. Подсчитано, что потенциальные запасы терпеноидов древостоя составляют в среднем 180 кг/га, из которых значительная часть (70–80 кг) находится в охвоенных побегах. Примерно столько же содержится в стволе. Остальное их количество распределяется между неохвоенными побегами и корнями. Кроме того, ресурсы терпеноидов повышаются за счет опада (0,23 %) и лесной подстилки (0,11 %).

Проведенные расчеты указывают на повышение запасов масла в онтогенезе. Его ежегодное накопление в среднем составляет для подростка и молодняков 3–5, для спелых и перестойных древостоев – 2–3 кг/га. Однако такая закономерность реализуется лишь при соответствии других характеристик леса: места произрастания, состава, бонитета, полноты.

Главным поставщиком летучих терпеноидов в атмосферу являются охвоенные побеги. Их экскретирование возрастает при снижении возраста растений, смещении с юга на север и коррелирует с содержанием эфирного масла. Существенную роль при этом играет температура воздуха. Выход экскретов из этих органов составляет: для подростка – 7–9, молодняков – 11–13, средневозраст-

ных – 12–14, приспевающих – 10–11 и перестойных – 7–9 г/га в час.

При этом характер сезонного варьирования концентрации терпеноидов под пологом леса существенно отличается от ее изменчивости в биомассе. Максимальное содержание этих соединений отмечается в конце июня – начале июля. Затем их вклад постоянно снижается до конца августа, несколько повышается в первой половине сентября и резко уменьшается в третьей декаде, когда концентрация веществ в 7–10 раз ниже июльского уровня. Выделение терпеноидов наблюдается и в более поздние сроки. Представление об эмиссии этих веществ зимой подтверждается и литературными сведениями [8].

Количество летучих терпеноидов, выделяемых неохвоенными побегами и стволами деревьев, помимо фитомассы существенно зависит от их диаметра. Побеги диаметром 2–3 см выделяют в атмосферу до 15 %, 6–8 см – 6–9 % летучих веществ, экскретуемых равной массой охвоенных побегов. Интенсивность экскретирования стволов и неохвоенных побегов составляет соответственно в молодняках 163 и 57, средневозрастных – 126 и 38, приспевающих – 106 и 26, спелых – 97 и 25 и перестойных – 90 и 23 мг/т в час. Их суммарная выделительная способность в зависимости от возраста оценивается от 1 до 7 г/га в час. Отсюда следует, что на долю стволов и неохвоенных ветвей приходится в некоторых перестойных древостоях до 80 % от эмиссии хвойных ветвей. Вместе с ними часовой выход летучих терпеноидов в июле ориентировочно определяется в 15–17 г/га.

Для оценки массы поступающих в атмосферу летучих веществ полученные данные сопоставлены с температурой воздуха и продолжительностью экскретирования в сезоне. Найденное таким образом количество летучих терпеноидов варьирует от 30 до 80 кг/га, составляя в среднем по региону 40–47 кг/га. Из растительных остатков здесь ежегодно выделяется около 6 кг/га терпеноидов.

Терпеноидная фракция воздуха сосняков по составу близка к эфирному маслу охвоенных побегов (см. таблицу), что подтверждает представление об этих органах как основном источнике поступления терпеноидов в атмосферу.

Вместе с тем терпеноидная фракция воздуха богаче монотерпенами эфирного масла.

В теплые июльские дни они составляют свыше 90 % от суммарного количества терпеноидов в экзометаболитах. Весной и осенью их доля уменьшается и достигает к концу сентября 50–55 %. Еще в большей мере варьирует концентрация некоторых других соединений. Содержание α -пинена в течение сезона различается более чем в 3 раза [4], 3-карена, способствующего появлению дерматитов и аллергии [9], с мая по сентябрь изменяется от 5 до 18 %.

Доля кислородсодержащих соединений в фитоорганических выделениях более значительна. Их высокое содержание достигается преимущественно за счет веществ, образующихся в результате окислительных превращений исходных компонентов [10]. На их долю в некоторые жаркие дни приходится 10–13 % от общей массы экзометаболитов.

Сесквитерпеноидов в летучих выделениях в течение всего исследуемого периода найдено меньше по сравнению с эфирным маслом. Это объясняется трудностью их эмиссии, что, по-видимому, связано с большей молекулярной массой и меньшей летучестью этих соединений.

Считается, что в малолесных районах половина летучих терпеноидов выпадает на данной территории [11]. В тайге их количество увеличивается до 80–90 %. Кроме того, запасы возрастают за счет терпеноидов, вымываемых из кроны деревьев талой и дождевой водой, их трансформированных и связанных производных в опаде, лесной подстилке и корневой системе. Терпеноиды поступают в почву и из других частей деревьев из-за механических повреждений и по другим причинам. Их общая масса, ежегодно попадающая в почву в лесостепных районах Сибири, оценивается в 65–80 кг/га [4]. Участие этих соединений в образовании гумусовых веществ подтверждается наличием в их ИК-спектрах 15 характеристических полос терпеноидов.

Сопоставление количества терпеноидов, ежегодно скапливающихся на 1 га территории, с запасами опада (25–30 ц/га), который является основным материалом при гумусообразовании, означает, что их вклад в гумусовые вещества почв составляет 2–3 %.

Проведенные исследования позволили проанализировать круговорот терпеноидов в сос-

няках Средней Сибири, оценить их вклад в биомассу растений, воздушную среду и лесную почву. Запасы летучих терпеноидов в растительных тканях составляют в среднем около 200 кг/га – примерно поровну (по 70–80 кг) находится в охвоенных побегах и столовой части, остальное – в опаде, лесной подстилке и корнях.

Из этого количества метаболитов биомассы, преимущественно охвоенных побегов, в атмосферу улетучивается ежегодно 45–50 кг/га терпеноидов. В лесных районах 80–90 % этих веществ остается на данной территории. Вместе с вымываемыми водой из живых органов дерева, растительных остатков и нелетучих терпеноидов последних их вклад составляет 65–80 кг/га в год. Сравнение с биомассой опада показывает, что доля терпеноидов при образовании гумусовых веществ составляет 2–3 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Пасешниченко, *Итоги науки и техники. Биологическая химия*, М., 1987, 25, 194.
2. В. В. Протопопов, *Средообразующая роль темнохвойного леса*, Новосибирск, 1975, 328.
3. В. А. Исидоров, *Органическая химия атмосферы*, Л., 1985, 264.
4. Р. А. Степень, С. М. Репях, *Летучие терпеноиды сосновых лесов*, Красноярск, 1998, 406.
5. Ю. И. Ершов, А. К. Москалев, Р. А. Степень, *Земельные и лесные ресурсы Красноярского края, проблемы их рационального использования*, Новосибирск, 2001, 114.
6. Р. А. Степень, *Лесоведение*, 1994, 6, 22–28.
7. Р. А. Степень, Т. М. Корсунова, *Изв. СО АН СССР. Сер. биол. наук*, 1988, 2, 43–49.
8. Y. Yokouchi, A. Hijikata, Y. Ambe, *Chemosphere*, 1984, 13, 255–259.
9. А. К. Артюховский, *Санитарно-гигиенические и лечебные свойства леса*, Воронеж, 1985, 104.
10. С. Э. Полудничина, Л. П. Усольцева, Т. В. Бараков, Р. А. Степень, *Лиственница и ее использование*, Красноярск, 1978, 157–165.
11. G. H. Kohlmaier, H. Bröhl, E. O. Sire, *Allg. Forst. Jagdztg.*, 1983, 154, 170–174.

Reserves of Terpenoid Compounds in Pine Forests of the Krasnoyarsk Forest-Sreppе

R. A. STEPEN, S. M. REPYACH

It is demonstrated that the basic components of volatile emanations of coniferous forests actively participating in the substance circulation are terpenoid compounds. Reserves of these compounds have been studied in stands, air and soil of pine forests. The amount of ether oil is on the average in phytocenoses 200, including in the leaf-fall and forest litter 23 kg/ha. Emission of terpenoids in pine forests, depending on the age and other causes, varies within the limits of 36–86 kg/ha. Together with the emission of these substances and other sources, the total annual mass of soil terpenoids is estimated at 65–80 kg/ha, which amounts to 2–3 % of the mass of humic substances.