

УДК 630.187.1:630.425

С. И. Шпак, аспирант; С. А. Ламоткин, ст. преподаватель; А. И. Ламоткин, доцент

ЭФИРНЫЕ МАСЛА СОСНЫ И ЕЛИ КАК ИНДИКАТОРЫ СОСТОЯНИЯ ПРИГОРОДНЫХ ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ МИНСКА

The qualitative and quantitative analysis of radio oils of a pine and fur-tree is carried out, and also the contents of toxic elements in needles of suburban coniferous woods is determined. Structure of oil essentially depends on a degree of pollution of needles and can be used as the indicator of an ecological condition of region.

В современных условиях наряду со стремительно развивающейся промышленностью отмечается резкое ухудшение экологической обстановки во всем мире. В связи с этим в последнее время весьма актуальной является проблема поиска надежных биологических индикаторов, способных отображать влияние различных техногенных нагрузок на биологические объекты. В ряде работ указывается, что в качестве индикаторов состояния окружающей среды могут использоваться физико-химические и морфологические показатели древесной зелени хвойных пород, а также данные по количественному составу содержащихся в ней химических веществ [1, 2].

В г. Минске сосредоточено значительное количество промышленных объектов, разнообразных не только по производимой продукции, но и по выбрасываемым в окружающую среду промышленным поллютантам, оказывающим неблагоприятное воздействие на экологическую систему в целом. Леса города, занимая значительные площади, выполняют важные рекреационные и средообразующие функции. Лесной массив г. Минска практически на 90% состоит из сосновых и еловых насаждений, различных по возрасту и плотности посадки, занимающих порядка 987,8 га [3].

В связи с этим целью данной работы было изучение изменения количества отдельных компонентов эфирных масел древесной зелени сосны и ели, произрастающих вдоль кольцевой дороги г. Минска, в зависимости от степени их загрязненности.

Экспериментальная часть

Образцы древесной зелени отбирали в лесных массивах естественного происхождения с деревьев 20–40-летнего возраста в сентябре и октябре, в период максимального содержания эфирного масла в хвое [4].

Эфирные масла выделяли методом гидродистилляции, а количественный выход определяли волюмометрически.

Качественный и количественный анализ выделенных эфирных масел проводили методом газожидкостной хроматографии на хроматографе Цвет-800. Для разделения компонентов использо-

вали кварцевые капиллярные колонки длиной 70 м с жидкими фазами ПЭГ-2000 и SE-70. Идентификацию отдельных компонентов проводили с использованием эталонных соединений, а также на основании известных литературных данных по индексам удерживания отдельных соединений.

Определение содержания Pb, Cr, Zn в золотых остатках хвои осуществляли методом атомноадсорбционного анализа. Подготовку образцов для определения в них валового содержания тяжелых металлов проводили традиционным методом.

На рисунке схематично приведена кольцевая дорога г. Минска с отметками мест отбора образцов. Как видно, образцы были отобраны с восьми участков с таким расчетом, чтобы полностью охватить периметр города. Во всех точках отбор образцов проводили с трех деревьев с целью контроля однородности образцов. Исключение составил участок № 7, где сосновые насаждения отсутствуют. В качестве эталона сравнения использовали древесную зелень, отобранную в заповеднике Беловежская Пуща Гродненской области (образец 9). Сравнение экспериментальных данных заведомо «чистого» и деградировавших в различной степени городских насаждений дало возможность объективно оценить результаты воздействия промышленных поллютантов на сосновые и еловые насаждения.

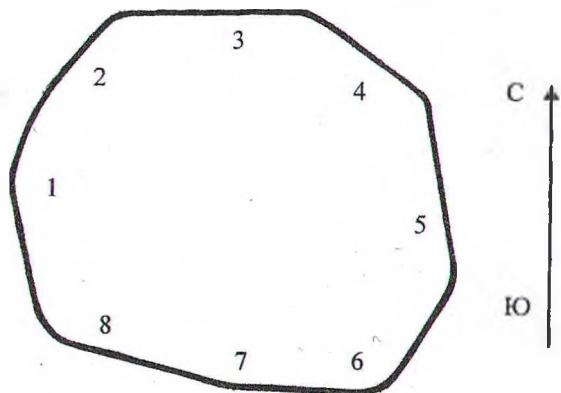


Рисунок. Схема отбора образцов хвои сосны и ели вдоль кольцевой дороги г. Минска

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 приведено содержание Pb, Cr и Zn в хвое сосны исследованных образцов.

Содержание данных элементов позволяет судить о специфике поглощенных деревьями загрязнений. Как видно из табл. 1, максимальное содержание Pb и Cr – в образцах, отобранных на участках 5 и 6, что хорошо согласуется с данными работы [3], где указывается на высокую степень загрязнения металлами южной и юго-восточной окраин города, где сосредоточено значительное количество крупных промышленных объектов (МАЗ, тракторный завод, ТЭС и т. д.). Кроме того, анализ розы ветров показал, что в данном регионе преобладают западные и северо-западные ветра, а это также способствует увеличению антропогенной нагрузки на деревья, произрастающие на 5 и 6 участках. Изменение содержания Zn в зольных остатках не соответствует закономерностям для Pb и Cr, что хорошо согласуется с данными работы [5], где указывается на обогащение данным элементом образцов, отобранных в более чистых зонах либо зонах с невысоким содержанием железа.

Как отмечалось выше, компонентный состав эфирных масел существенно зависит от загрязнения окружающей среды и может использоваться в качестве инструмента для контроля за состоянием фитоценозов. Количество эфирного масла, выделенного из хвои сосны, слабо зависит от степени загрязненности образцов и изменялось в пределах 1,0–1,4% а. с. д. Причем, как правило, содержание эфирного масла в более загрязненных образцах хвои сосны 5 и 6 превышает на 20–30% содержание эфирного масла в «чистых» образцах 3 и 9, что хорошо согласуется с данными работы [6].

Выход эфирного масла из еловой хвои значительно меньше, чем из сосновой, и составлял около 0,2–0,3% а. с. д., что также хорошо согласуется с литературными данными [7, 8].

Традиционно суммарной характеристикой эфирного масла является показатель преломления. Величины показателей преломления для эфирных масел, выделенных из древесной зелени сосны и ели, приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, величина показателя преломления для эфирных масел, выделенных из отобранных образцов, существенно изменяется. Причем интересно отметить, что нет четко выраженной зависимости величины показателя преломления от степени загрязненности образца.

В результате качественного и количественного анализа эфирных масел сосны и ели был идентифицирован ряд компонентов, представленный в табл. 3 и 4.

Как видно из табл. 3, основными компонентами эфирного масла сосны являются: α -пинен, Δ^3 -карен, мирцен, β -пинен, борнилацетат, лимонен, γ -терпинен, терпинолен. Содержание этих компонентов доминирует во всех образцах и зависит от уровня загрязнения участка и хвои сосны. Содержание практически всех остальных компонентов не зависит от уровня загрязнения участка и изменяется сложным образом. Как видно из табл. 3, в зависимости от степени загрязнения изменяется не только групповой состав эфирного масла сосны, но также определенным образом изменяется состав компонентов в группах. С возростанием техногенной нагрузки увеличивается содержание лимонена и мирцена, снижается содержание терпинолена.

Содержание металлов в древесной зелени сосны, мг/кг а. с. д.

Таблица 1

Элемент	№ образца							
	1	2	3	4	5	6	8	9
Pb	1,5	1,1	1,2	1,4	2,2	2,3	1,5	0,4
Cr	7,1	2,2	3,1	4,0	9,4	10,2	6,5	1,4
Zn	91,4	68,1	80,2	94,1	74,1	101,2	164,8	77,6

Величины показателя преломления $n(D)^{20}$ эфирного масла сосны и ели

Таблица 2

Порода дерева	№ образца								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сосна	1,4960	1,4822	1,4856	1,4852	1,4948	1,4830	–	1,4890	1,4838
Ель	1,4752	1,4768	1,4780	1,4782	1,4720	1,4776	1,4758	1,4792	1,4744

Содержание основных компонентов, %, в эфирном масле сосны,
произрастающей вдоль кольцевой дороги г. Минска

Соединение	№ образца								
	1	2	3	4	5	6	8	9	
Трициклен	0,9	0,7	1,1	0,9	1,3	1,2	0,9	1	
α -Пинен	51,6	41,3	29,8	38,8	63,1	57,9	54,6	28,8	
Камфен	3,1	2,7	3,4	2,8	3,6	3,6	3,2	3,4	
Фенхен	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	
Сабинен	1,1	1	1,1	1,2	0,2	0,7	0,8	1,3	
β -Пинен	2	1,2	2,6	2,2	4,1	1,9	2	8,1	
Мирицен	2,5	2,2	3	6,8	10,6	3,1	2,5	2,7	
α -Фелландрен	0,9	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	
Δ^3 -Карен	22,9	40,1	41,7	38,6	4,4	21,9	23,1	45	
α -Терпинен	0,2	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	
p-Цимол	0,1	0,3	0,3	0,7	0,1	0,1	0,1	0,1	
Лимонен	6,2	2,1	2,9	2,7	5,6	2	7,4	3	
γ -Терпинен	3,9	2,3	2,8	1,7	4,3	3,5	1	1,2	
Терпинолен	3,2	3,8	4,9	3,4	1	2,8	2,5	4,2	
Всего монотерпеноидов	59,2	70	71,8	70,2	62,1	64	64,8	72,8	
Борнеол	2,2	1,6	2	1,6	2,6	2,5	1,1	1,9	
Терпинен-4-ол	2,3	9,2	9,5	4,2	2,9	5,9	3,3	3,5	
α -терпинеол	2,2	2,5	2,1	2,7	2,2	1,5	1	1,2	
Борнилацетат	36,4	31,8	28,9	29,4	37,1	29,4	37,1	50,9	
Всего кислородсодержащих соединений	5,9	4,0	4,1	5,0	5,6	4,0	3,7	3,2	
Всего сесквитерпеноидов	34,8	26,0	24,1	24,6	32,3	32,0	31,5	24,0	

Наиболее интересно отметить динамику изменения количества α -пинена и Δ^3 -карена. Содержание этих компонентов изменяется антибатно. Можно предположить, что α -пинен выполняет защитные функции при различных стрессовых ситуациях, и при увеличении техногенной нагрузки включаются механизмы биозащиты и воз-

растает его содержание, что подтверждается результатами работ [6, 9]. В свою очередь, снижение содержания Δ^3 -карена в загрязненных образцах можно связать с его высокой реакционно-способностью, а также с увеличением химических реакций окисления терпенов под воздействием промышленных поллютантов [5].

Таблица 4

Содержание основных компонентов, %, в эфирном масле ели,
произрастающей вдоль кольцевой дороги г. Минска

Соединение	№ образца								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сантен	0,7	0,8	0,7	0,4	0,6	0,3	0,7	0,8	0,9
Трициклен	0,6	0,8	1,5	0,8	1,0	0,6	1,0	1,3	1,7
α -Пинен	9,1	11,2	11,7	10,8	7,5	6,8	8,0	9,4	11,7
Камфен	8,6	10,2	13,6	12,1	9,1	8,1	10,5	16,2	19,0
Фенхен	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Сабинен	1,8	1,1	1,0	1,1	1,3	2,3	1,4	0,6	0,7
β -Пинен	6,6	11,0	11,3	10,4	4,5	4,7	8,6	8,9	11,0
Мирицен	4,3	5,9	8,0	7,6	7,3	7,1	6,0	6,1	9,0
α -Фелландрен	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
Δ^3 -Карен	7,7	6,6	8,7	5,6	13,1	21,5	18,9	5,8	4,5
α -Терпинен	0,9	0,4	0,3	0,4	0,7	0,7	0,6	0,4	0,4
p-Цимол	0,8	0,5	0,8	0,3	1,0	0,4	0,3	0,3	0,5
Лимонен	29,7	32,8	36,7	44,6	43,8	38,6	34,3	45,3	42,2
γ -Терпинен	1,4	0,5	0,4	0,6	1,6	0,2	1,1	0,5	0,4
Терпинолен	1,3	0,9	1,4	1,3	2,7	2,6	2,5	0,8	1,1
Всего монотерпеноидов	61,6	62,3	62,3	63,6	57,8	59,1	59,4	63,9	67,3
Камфора	2,7	4,9	4,5	4,1	1,5	3,4	3,3	4,1	5,1
Борнеол	2,4	4,1	4,2	6,6	1,8	3,9	3,9	4,0	11,8
Терпинен-4-ол	1,1	2,1	0,9	2,2	0,6	2,7	1,4	1,0	1,5
α -Терпинеол	2,2	4,5	4,9	6,8	1,6	2,3	2,1	2,0	3,6
Борнилацетат	72,0	46,2	70,9	71,3	80,0	69,7	68	74,9	64,2
Всего кислородсодержащих соединений	28,3	28,3	28,5	29,1	31,0	30,6	30,2	26,9	25,6
Всего сесквитерпеноидов	10,1	9,4	9,2	7,3	11,2	10,3	10,4	9,2	7,1

Как видно из табл. 4, основными компонентами эфирного масла ели являются α -пинен, камфен, Δ^3 -карен, мирцен, β -пинен, борнилацетат, лимонен. Содержание этих компонентов также доминирует во всех образцах и зависит от уровня загрязнения участка и хвои. В отличие от масла сосны в эфирном масле ели значительно больше содержание камфена и лимонена и значительно меньше α -пинена и Δ^3 -карена. Среди кислородсодержащих соединений в первую очередь следует отметить наличие камфоры. Как видно из табл. 4, во всех выделенных маслах доминируют монотерпеновые углеводороды и кислородсодержащие соединения, что хорошо согласуется с результатами работы [7].

При рассмотрении динамики изменения фракционного состава эфирных масел, выделенных из древесной зелени ели, следует отметить, что она носит более сложный характер, чем наблюдаемая для соснового масла. При этом можно отметить ряд существенных особенностей. Во-первых, при переходе к более загрязненным образцам снижается содержание α -пинена, камфена, β -пинена и возрастает содержание Δ^3 -карена, во-вторых, содержание лимонена слабо зависит от степени загрязненности образца. Все это указывает на существенное различие процессов биосинтеза основных соединений эфирных масел сосны и ели. Таким образом, в настоящей работе проведен анализ хвои и эфирных масел сосны и ели, произрастающих вдоль кольцевой дороги г. Минска. Данные по компонентному составу эфирных масел и содержанию отдельных компонентов существенно зависят от степени загрязненности территории и могут использо-

ваться в качестве индикатора экологической обстановки региона.

Литература

1. Фуксман И. Л., Пойкалайнен Я., Шредерс С. М. и др. Физиолого-биохимическая индикация состояния сосны обыкновенной в связи с воздействием промышленных поллютантов // Экология. – 1997. – № 3. – С. 213–217.
2. Хейнсоо К. Х. Смачивание хвои как индикаторный признак загрязненности воздуха // Лесоведение. – 1994. – № 4. – С. 71–77.
3. Состояние окружающей среды и природопользование в городе Минске // Под ред. Боровикова А. Н., Бурака В. М., Гриценко А. П. и др. – Мн.: БелНИЦ «Экология». – 2000. – 200 с.
4. Степень Р. А. Экологическая и ресурсная значимость летучих терпенов сосняков средней Сибири // Химия растительного сырья. – 1999. – № 2. – С. 125–129.
5. Степень Р. А., Коловский Р. А., Калачева Г. С. Влияние техногенных выбросов на состояние пригородных лесов Красноярска // Экология. – 1996. – № 6. – С. 410–414.
6. Сотникова О. В., Степень Р. А. Эфирные масла сосны как индикатор загрязнения среды // Химия растительного сырья. – 2001. – № 1. – С. 79–84.
7. Левин Э. Д., Репях С. М. Переработка древесной зелени. М.: Лесн. пром-сть. – 1984. – 120 с.
8. Ягодин В. И. Основы химии и технологии переработки древесной зелени. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 224 с.
9. Рощина В. Д., Рощина В. В. Выделительная функция высших растений. М.: Наука. – 1989. – 214 с.