

УДК 665.53

СОСТАВ И СВОЙСТВА ЭФИРНОГО МАСЛА ПИХТЫ СИБИРСКОЙ *ABIES SIBIRICA* LDB., ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В РАЗНЫХ РАЙОНАХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© *Е.С. Соловьёва**, *Т.А. Адамович*

Вятский государственный университет, ул. Московская, 36, Киров, 610000, (Россия), e-mail: tjnadamvich@rambler.ru

Пихта сибирская (*Abies sibirica* Ldb.) является сырьем для получения ценного эфирного масла. Изменение состава эфирного масла растения может служить признаком экологической неблагополучности территории. Целью работы являлось изучение состава и физико-химических свойств эфирного масла пихты сибирской, произрастающей в разных районах Кировской области. Места отбора образцов отличались своим месторасположением, климатом и уровнем антропогенной нагрузки. Эфирное масло получали методом перегонки с водяным паром. Образцы исследовали по органолептическим и физико-химическим свойствам, их состав определяли методом газовой хроматомасс-спектрометрии. Установлено, что у полученных образцов масла повышен показатель кислотного числа, а в их составе преобладают кислородсодержащие производные терпенов (борнилацетат). Особенно много кислородсодержащих веществ содержалось в эфирном масле пихты, произрастающей в крупных промышленных центрах области (городах Киров и Кирово-Чепецк). Преобладание монотерпеновых углеводородов (камфен, лимонен) установлено в составе эфирного масла пихты из села Ильинское. Сесквитерпеноиды в образцах содержались в незначительном количестве, а камфора была отмечена только в образце масла пихты из села Лойно. Проведенное исследование подтверждает данные о том, что с повышением загрязнения территории в составе эфирного масла пихты сибирской начинает возрастать доля борнилацетата и других кислородсодержащих соединений.

Ключевые слова: эфирное масло, пихта сибирская, химический состав, терпены, загрязнение.

Введение

В соответствии с ботанико-географическим делением Кировская область входит в состав Уральско-Западно-Сибирской таежной провинции Евразийской хвойно-лесной области. На всей территории края зональной растительностью, соответствующей климату, являются леса, занимающие 63% территории области [1]. В лесном фонде Кировской области наиболее распространены хвойные насаждения, которые в целом представлены сосняками и ельниками. В северной части области преобладают еловые и елово-пихтовые заболоченные леса с напочвенным покровом из влаголюбивых зеленых и торфяных мхов. В центральных районах распространены елово-пихтовые леса с зелеными мхами и травяно-кустарничковым ярусом. В южных районах к хвойным породам первого яруса ели и пихте примешиваются дуб и липа, образуя хвойно-широколиственные леса. Пихта сибирская (*Abies sibirica* Ldb.) относится к роду голосеменных, семейству сосновых. Это высокое стройное дерево (до 30 м) с узкопирамидальной формой кроны и гладкой серой корой. Пихта – весьма зимостойкое и теневыносливое растение, требовательное к качеству почвы, хорошо растущее на достаточно увлажненных богатых суглинках. Значение пихты как лесобразующей породы по сравнению с елью невелико, однако она является

Соловьёва Евгения Сергеевна – доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии, кандидат биологических наук, ORCID: orcid.org/0000-0001-9222-7752, e-mail: blueberry17@mail.ru

Адамович Татьяна Анатольевна – доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии, кандидат географических наук, ORCID: orcid.org/0000-0002-8684-927X, e-mail: tjnadamvich@rambler.ru

сырьем для получения ценного эфирного масла. Пихта очень чувствительна к антропогенному загрязнению территории и атмосферного воздуха. Визуальные признаки негативного воздействия на деревья становятся заметными, когда растение утрачивает способность к адаптации и начинаются необ-

* Автор, с которым следует вести переписку.

ратимые процессы. Ранним признаком экологической неблагополучности территории могут являться изменения в метаболических процессах растения. В том числе индикатором может служить изменение состава эфирного масла растения.

Цель работы – изучить состав и физико-химические свойства эфирного масла пихты сибирской, произрастающей в разных районах Кировской области.

Объекты и методы исследования

Для исследования в сентябре – ноябре 2018 г. были собраны образцы хвои пихты сибирской, произрастающей в различных районах Кировской области. Осень является периодом подготовки пихты к состоянию покоя, когда охвоенные побеги наиболее богаты эфирным маслом. Для эксперимента образцы хвои отбирали в средней части кроны 3–4 нормально развитых деревьев. Местами отбора образцов являлись города Луза, Киров и Кирово-Чепецк; поселок Медведок (Нолинский район); села Ильинское (Кирово-Чепецкий район) и Лойно (Верхнекамский района) (рис. 1). Места отбора образцов отличались своим месторасположением на территории области, климатическими характеристиками, а также уровнем антропогенной нагрузки. Все деревья располагались непосредственно в населенных пунктах, которые отличались численностью населения, преобладающей отраслью промышленности или хозяйственной деятельности, величиной транспортного потока. Город Луза, где располагался участок отбора №1, находится в северо-западной части Кировской области, на правом берегу реки Лузы. Для данной территории характерен умеренно холодный климат со значительным количеством осадков в течение года. В городе проживает 10232 человека. Луза является одним из главных центров лесопиления области, в городе расположен «Лузский лесопромышленный комбинат». При обработке древесины в атмосферу выбрасываются продукты горения, такие как монооксид углерода, оксиды азота, оксиды серы, а также летучие органические соединения, которые содержатся в коре и древесине. Вклад в антропогенное загрязнение вносит автотранспорт и не электрифицированная железная дорога. Участок №2 располагался в областном центре. Основные экологические проблемы города Кирова, где проживает около 513 тыс. человек, связаны с высокой концентрацией крупных промышленных объектов, транспортных потоков, большой плотностью населения и инфра-



Рис. 1. Карта-схема мест сбора образцов хвои пихты сибирской на территории Кировской области

структуры. Крупнейшие загрязнители атмосферного воздуха – предприятия энергетического комплекса, химическая и нефтехимическая промышленность, транспорт. Основными загрязняющими веществами являются оксиды углерода, пыль, формальдегид [2, 3]. Кирово-Чепецк (участок №3), где проживает 72 тыс. человек, расположен в центре Кировской области, при впадении реки Чепца в Вятку, в 22 км к юго-востоку от города Кирова. Наибольшее влияние на окружающую среду оказывают расположенные в городе химические производства: завод минеральных удобрений, «ГалоПолимер», «Агрохимикат». За годы деятельности промышленных объектов Кирово-Чепецкого химического комбината природный комплекс в районе его эксплуатации под воздействием техногенного загрязнения сильно преобразован и представляет собой нарушенную природно-техногенную систему. На территории комбината находятся шламонакопители и хвостохранилища, содержащие большое количество токсичных, ртутьсодержащих, радиоактивных отходов. Хранилища отходов производства расположены в 1,5 км от селитебной зоны г. Ки-

рово-Чепецка, в зоне санитарной охраны водозабора областного центра города Кирова с населением более 500 тыс. человек [4]. В селе Ильинском (участок №4), расположенном в Просницком сельском поселении Кирово-Чепецкого района и находящемся на расстоянии 15 км от города Кирово-Чепецка, проживает 95 человек. Медведок – поселок в Нолинском районе при впадении в Вятку реки Кайдола. В поселке на сегодняшний день проживает 1700 человек. Лойно – село в северо-восточной части Верхнекамского района Кировской области, где проживает около полутора тысячи человек.

В лабораторных условиях хвою измельчали, усредняли и составляли объединенные образцы для получения эфирного масла. Эфирное масло получали методом перегонки с водяным паром на лабораторной установке при атмосферном давлении [5]. Образцы эфирного масла исследовались по органолептическим и физико-химическим свойствам, таким как остаток после выпаривания, показатель преломления и кислотное число [6]. Состав полученных эфирных масел определяли на газовом хроматомакс-спектрометре GCMS-QP2010 Plus компании «Shimadzu». Обработка экспериментальных данных проводилась общепринятыми в математической статистике методами.

Обуждение результатов

Все полученные образцы эфирных масел пихты по органолептическим свойствам являются полностью прозрачными жидкостями, от бесцветного до бледно-желтого цвета, с характерным сильным древесным запахом. Чем выше значение кислотного числа масла, тем выше содержание в нем свободных кислот. Данный показатель у всех полученных образцов эфирного масла является повышенным. Кислотное число в образцах эфирных масел пихты сибирской варьируется в диапазоне от 1,71 до 3,05 мг/г (табл. 1). Наибольшее значение кислотного числа (3,05 мг/г) наблюдается у эфирного масла, полученного из хвои пихты сибирской, произрастающей в г. Кирово-Чепецке, также высокое значение данного показателя характерно для эфирного масла пихты из села Ильинское, которое также расположено в Кирово-Чепецком районе. Показатель преломления качественного эфирного масла пихты сибирской не должен быть ниже значения 1,468 и выше 1,473. Во всех образцах, кроме третьего, значение показателя преломления соответствует данному требованию, а в образце №3 данный показатель ниже. Количество остатка после выпаривания в образцах эфирных масел пихты сибирской варьируется в большом диапазоне от 19 до 39%. По данному показателю можно судить о том, сколько сухого вещества содержится в масле после испарения летучих компонентов. Максимальный остаток после выпаривания наблюдается в образце из поселка Медведок. Наименьшее значение характерно для образца масла из пихты, собранной в городе Кирове.

Состав эфирного масла хвои пихты очень сложный и включает большое количество компонентов. В нашем исследовании было установлено, что в составе эфирных масел пихты сибирской преобладают терпены и их кислородсодержащие производные. Данные, полученные в результате исследования образцов на газовом хроматомакс-спектрометре, представлены в таблице 2.

Преобладающим монотерпеновым углеводородом эфирного масла хвои пихты сибирской является камфен [5, 7–9]. Присутствие данного компонента отмечено в образцах №1, 3 и 4 (табл. 2). Наибольшее количество камфена установлено для эфирного масла пихты из села Ильинское (39%), также только в этом эфирном масле обнаружен другой монотерпеновый углеводород – лимонен (21%). Преобладающий вклад в кислородсодержащую фракцию терпенов пихтового эфирного масла вносит борнилацетат, который является наиболее ценным компонентом масла, определяющим его качество и стоимость [10–14]. Содержание борнилацетата в образцах полученных масел значительно варьировало от минимального значения (8,7%) в эфирном масле пихты из города Луза, до максимального (75%) в образце масла пихты из поселка Медведок. Высоким содержанием борнилацетата характеризовались образцы эфирного масла пихты из города Кирова и п. Лойно. Вместо борнилацетата в составе образца №1 было отмечено преобладание его изомера – изоборнилацетата, массовая доля которого в составе эфирного масла составила 59%. Отсутствие борнилацетата отмечено в образце масла №4, где также установлено наличие изоборнилацетата. В состав кислородсодержащей фракции эфирного масла пихты сибирской входит также борнеол, содержание которого в полученных образцах пихтового масла было минимальным для образца №1 (0,75%), а в образцах под номерами 2, 4–6 его массовая доля колебалась на уровне 14,5–16,5%. Сесквитерпеноиды содержались в незначительном количестве в полученных образцах эфирного масла №2, 5 и 6 и были представлены кариофилленом и α -кариофилленом. При этом содержание кариофиллена в эфирном масле более чем в два раза превышало содержание его изомера (табл. 2). Одним из ценных компонентов пихтового масла является камфора, ее содержание отмечено только в эфирном

масле пихты из села Лойно. В образце масла пихты, произрастающей в Кирово-Чепецке, отмечен компонент N,N-диметил 1-тридеканамин (19%), который не характерен для эфирного масла пихты сибирской.

Таблица 1. Физико-химические показатели пихтового эфирного масла

Образец	Кислотное число, мг/г	Показатель преломления	Остаток после выпаривания, %
№ 1. Луза	2,01±0,48	1,4680±0,0001	20±6
№ 2. Киров	2,59±0,29	1,4696±0,0006	19,4±3,3
№ 3. Кирово-Чепецк	3,8±0,4	1,4640±0,0004	30±8
№ 4. с. Ильинское	3,1±0,5	1,4680±0,0003	35±10
№ 5. п. Медведок	1,71±0,10	1,4684±0,0003	39±11
№ 6. с. Лойно	2,22±0,22	1,4690±0,0001	34±4

Таблица 2. Состав эфирных масел по данным газовой хроматомасс-спектрометрии

№	Компонент	Массовая доля компонента в образце, %					
		№1, Луза	№2, Киров	№3, Ки- рово-Чепецк	№4, с. Иль- инское	№5, п. Мед- ведок	№6, Лойно
1	Камфен*	31,44±0,31	–	20,29±0,21	38,77±0,39	–	–
2	Лимонен*	–	–	–	20,73±0,21	–	–
3	Кариофилен*	–	4,66±0,05	–	–	3,88±0,04	5,298±0,05
4	α-Кариофилен*	–	1,530±0,015	–	–	1,190±0,012	2,843±0,028
5	Борнилацетат	8,65±0,09	77,3±0,8	60,5±0,6	–	78,5±0,8	71,6±0,8
6	Изоборнилацетат	58,5±0,6	–	–	25,39±0,25	–	–
7	Борнеол	0,710±0,007	16,88±0,17	–	15,11±0,15	16,46±0,17	14,48±0,15
8	N,N-диметил-1- тридеканамин	–	–	19,07±0,19	–	–	–
9	Камфора	–	–	–	–	–	5,832±0,06
10	α-Бисаболол	0,748±0,008	–	–	–	–	–
Всего терпенов		31,44±0,31	6,19±0,06	20,29±0,20	59,5±0,6	5,07±0,05	8,14±0,08
Всего кислородсодержа- щих производных терпенов		68,6±0,7	93,8±0,9	60,6±0,6	40,5±0,4	94,9±0,9	91,86±0,9
Другие группы органических веществ		–	–	19,07±0,19	–	–	–

Примечание. * соединение относится к классу терпенов; – отсутствие компонента.

Все компоненты эфирных масел можно разделить на 3 группы: терпены, кислородсодержащие вещества (производные терпенов), а также посторонние вещества (рис. 2). В составе большинства полученных эфирных масел преобладают кислородсодержащие производные терпенов. Только в образце эфирного масла пихты из с. Ильинское в компонентном составе преобладают терпены. Наибольшее количество кислородсодержащих веществ содержится в эфирном масле пихты сибирской, полученной из хвои, собранной в центре Кировской области, а именно в городах Киров и Кирово-Чепецк.

Такие различия в составе эфирного масла могут быть связаны с химическими превращениями внутри растения под влиянием загрязнения окружающей среды. Антропогенное воздействие оказывает существенное влияние на содержание компонентов эфирного масла хвои пихты, но закономерность установить достаточно сложно. По существующим данным при переходе от незагрязненной к загрязненной территории в эфирных маслах хвои пихты сибирской убывает доля лимонена, камфоры, камфена и возрастает содержание борнилацетата, то есть кислородсодержащих соединений [15–17]. Биологическая активность эфирного масла *A. sibirica* в значительной степени зависит от содержания основных компонентов, таких как борнилацетат и камфен [11, 18–20]. В нашем исследовании эта закономерность хорошо прослеживается при сравнении состава эфирного масла с наиболее загрязненных территорий городов Киров и Кирово-Чепецк, где преобладают кислородсодержащие соединения, с составом эфирного масла из пихты села Ильинское, в составе которого преобладают терпены (камфен и лимонен). Высокое содержание борнилацетата в образцах эфирного масла 2 и 3 (Киров и Кирово-Чепецк) может быть связано с наличием в атмосфере этих городов большого количества оксидов серы и азота, которые, проникая в растения, способствуют реакции камфена с уксусной кислотой с образованием эфиров борнеолов [5]. Этим же можно объяснить достаточно высокое содержание камфена и невысокое содержание борнилацетата в составе эфирного масла пихты из города Луза, где уровень атмосферного загрязнения гораздо ниже, чем в областном центре. Состав эфирного масла хвои пихты, собранной в

поселках Лойно и Медведок, очень схожий и отличается низким содержанием терпенов и высоким содержанием кислородсодержащей фракции, что сложно объяснить антропогенным воздействием [21]. Высокое содержание борнилацетата в эфирном масле пихты этих населенных пунктов (образцы 5 и 6), возможно, связано с комбинацией местных экологических и климатических факторов, способствующих этерификации борнеола в борнилацетат. Если проанализировать состав эфирного масла пихты, передвигаясь от самого северного района отбора образцов (Луза) к южному (Медведок), то, в целом, можно отметить увеличение содержания кислородсодержащих веществ в составе эфирного масла. При этом массовая доля фракции терпенов в масле пихты сибирской с севера к югу Кировской области уменьшается.

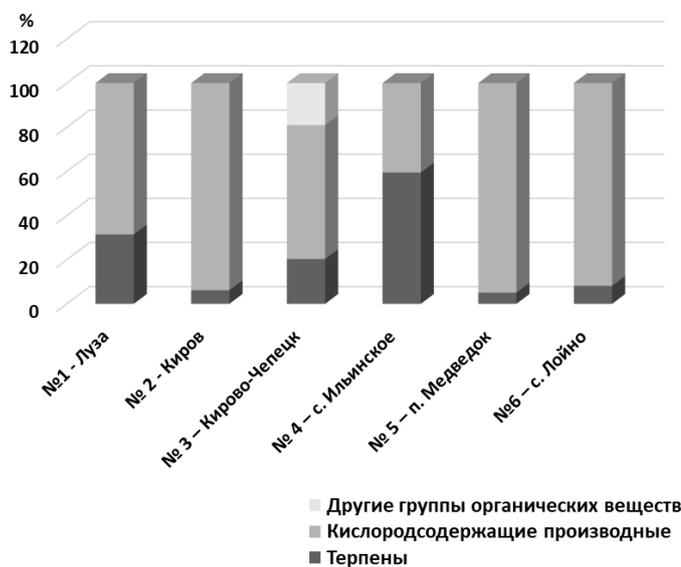


Рис. 2 Соотношение различных компонентов в эфирном масле пихты сибирской в зависимости от места произрастания дерева

Выводы

Таким образом, при проведении исследования изучены свойства и состав эфирного масла хвои пихты сибирской в разных населенных пунктах Кировской области. По органолептическим свойствам все исследованные образцы являлись полностью прозрачными жидкостями, от бесцветного до бледно-желтого цвета, с характерным сильным древесным запахом. Показатель кислотного числа у всех полученных образцов эфирного масла повышен и варьирует в диапазоне от 1,71 до 3,05 мг/г. Это можно объяснить окислением масел и наличием в них свободных жирных кислот. Установлено, что в составе исследованных эфирных масел пихты сибирской преобладали терпены и их кислородсодержащие производные. Среди монотерпеновых углеводородов наибольшее количество камфена содержалось в эфирном масле из села Ильинское. Из кислородсодержащей фракции терпенов преобладал борнилацетат, содержание которого в образцах полученных масел значительно варьировало в интервале от 8,7 до 79%. Сесквитерпеноиды содержались в незначительном количестве в полученных образцах эфирного масла и были представлены кариофилленом и α -кариофилленом. Содержание камфоры отмечено только в эфирном масле пихты из села Лойно. Преобладание кислородсодержащих производные терпенов отмечено в составе большинства полученных эфирных масел. Особенно много кислородсодержащих веществ содержалось в эфирном масле, полученном из хвои, собранной в городах Кирове и Кирово-Чепецке. Все это согласуется с имеющимися данными о том, что на антропогенно-загрязненных территориях в составе эфирного масла пихты сибирской начинает возрастать доля борнилацетата и других кислородсодержащих соединений. Полученные результаты исследования указывают на возможность индикации состояния загрязнения воздушной среды по компонентному составу эфирного масла хвои пихты сибирской.

Список литературы

1. Леса Кировской области / под ред. А.И. Видякина, Т.Я. Ашихминой, С.Д. Новоселова. Киров, 2007. 400 с.
2. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2018 году: Региональный доклад / под общ. ред. А.В. Албеговой. Киров, 2019. 194 с.

3. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2017 году: Региональный доклад / под общ. ред. А.В. Албеговой. Киров, 2018. 173 с.
4. Адамович Т.А., Ашихмина Т.Я. Аэрокосмические методы в системе геоэкологического мониторинга природно-техногенных территорий // Теоретическая и прикладная экология. 2017. №2. С. 15–24. DOI: 10.25750/1995-4301-2017-3-015-024.
5. Рудаков Г.А. Химия и технология камфоры. М., 1976. 208 с.
6. ГОСТ ISO 10869-2015. Масло эфирное сибирской пихты (*Abies sibirica* Lebed). Технические условия. М., 2016. 11 с.
7. Степень Р.А., Есякова О.А. Влияние антропогенного загрязнения среды на содержание и состав эфирного масла хвои ели // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24, №1. С. 122–127.
8. Ушанов С.В., Степень Р.А., Ушанова В.М. Возрастная динамика содержания пихтового масла в древесной зелени *Abies sibirica*. Теоретические аспекты оценки // Химия растительного сырья. 2017. №1. С. 129–136. DOI: 10.14258/jcrpm.2017011448.
9. Лобанов В.В., Степень Р.А. Влияние биоценологических факторов на содержание и состав пихтового масла // Хвойные бореальные зоны. 2004. Т. 22, №1–2. С. 148–156.
10. Schicchi R., Geraci A., Rosselli S., Maggio A., Bruno M. Chemodiversity of the Essential Oil from Leaves of *Abies nebrodensis* (Lojac.) Mattei // Chemistry&Biodiversity. 2017. Vol. 14, issue 2. e1600254. DOI: 10.1002/cbdv.201600254.
11. Polyakov N.A., Dubinskaya V.A., Efremov A.A., Efremov E.A. Biological Activity of *Abies Sibirica* Essential Oil and its Major Constituents for Several Enzymes In Vitro // Pharmaceutical Chemistry Journal. 2014. Vol. 48, issue 7. Pp. 456–460.
12. Satyal P., Setzer W.N. Chemical composition and enantiomeric distribution of monoterpenoids of the essential oil of *Abies spectabilis* from Nepal // American Journal of Essential Oils and Natural Products. 2017. Vol. 5, no. 1. Pp. 22–26.
13. Ламоткин С.А., Скаковский Е.Д., Механикова Е.Г., Гиль Е.В., Романюк Л.И. Сезонная динамика терпеновых углеводов эфирного масла сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Труды БГТУ. Серия 2. 2019. №1. С. 17–24.
14. Калинина Е.С., Резник Е.Н. Оценка качества эфирного масла пихты // Перспективы науки – 2017: сборник докладов VI Междунар. конкурса научно-исследовательских работ. Казань, 2017. С. 344–347.
15. Ефремов Е.А., Ефремов А.А. Компонентный состав эфирного масла октябрьской лапки пихты сибирской Красноярского края // Химия растительного сырья. 2010. №3. С. 121–124.
16. Ефремов Е.А., Назиров Р.А., Ефремов А.А. Влияние экологического состояния территории на содержание и компонентный состав эфирного масла пихты сибирской // Вестник КрасГАУ. 2014. №12. С. 89–93.
17. Степень Р.А. Ориентировочная оценка содержания пихтового масла в древесной зелени // Хвойные бореальной зоны. 2017. №1–2. С. 123–126.
18. Ламоткин С. А., Владыкина Д. С., Скаковский Е. Д. Зависимость состава эфирного масла ели канадской *Pinus glauca* (moench) voss. от экологической обстановки района произрастания // Химия растительного сырья. 2012. №2. С. 111–117.
19. Бажина Е. В. Жизненное состояние и элементный состав хвои пихты сибирской *Abies Sibirica* ledeb. в различных условиях произрастания в Западном Саяне // Сибирский лесной журнал. 2016. №6. С. 103–112. DOI: 10.15372/SJFS20160610.
20. Солдатова С.Ю., Дубровин Г.А., Смирнов Д.А. Сравнительный анализ физико-химических показателей эфирного масла сосны обыкновенной, полученного разными методами // Бюллетень науки и практики – bulletin of science and practice. 2016. №8. С. 49–57.
21. Григоренко А.В., Грибов А.И. Морфологические параметры хвои, элементный состав и компонентный состав эфирного масла *Pinus Sylvestris* L. Минусинского бора в условиях антропогенного загрязнения // Вестник Пермского университета. 2015. Вып. 4. С. 359–365.

Поступила в редакцию 19 февраля 2020 г.

После переработки 18 марта 2020 г.

Принята к публикации 7 апреля 2020 г.

Для цитирования: Соловьёва Е.С., Адамович Т.А. Состав и свойства эфирного масла пихты сибирской *Abies sibirica* Ldb., произрастающей в разных районах Кировской области // Химия растительного сырья. 2020. №3. С. 291–297. DOI: 10.14258/jcrpm.2020037398.

Solovyova E.S.*, Adamovich T.A. COMPOSITION AND PROPERTIES OF ESSENTIAL OIL OF SIBERIAN FIR *ABIES SIBIRICA* LDB., GROWING IN DIFFERENT AREAS OF THE KIROV REGION

Vyatka State University, Moskovskaya st., 36, Kirov, 610000, (Russia), e-mail: tjnadamvich@rambler.ru

Siberian fir (*Abies sibirica* Ldb.) Is a raw material for obtaining valuable essential oil. A change in the composition of the plant's essential oil can serve as a sign of the ecological disadvantage of the territory. The aim of the work was to study the composition and physicochemical properties of Siberian fir essential oil, which grows in different regions of the Kirov region. Sampling sites were distinguished by their location, climate and level of anthropogenic load. Essential oil was obtained by steam distillation. Samples were studied by organoleptic and physicochemical properties, their composition was determined by gas chromatography-mass spectrometry. It was established that the acid number was increased in the obtained oil samples, and oxygen-containing derivatives of terpenes (bornyl acetate) prevailed in their composition. Especially a lot of oxygen-containing substances was found in fir essential oil, which grows in large industrial centers of the region (the cities of Kirov and Kirovo-Chepetsk). The predominance of monoterpene hydrocarbons (camphene, limonene) was found in the composition of fir essential oil from the village of Ilyinskoye. Sesquiterpenoids in the samples were contained in a small amount, and camphor was noted only in the sample of fir oil from the village of Loino. The study confirms the data that with increasing pollution of the territory in the composition of the essential oil of Siberian fir, the share of bornyl acetate and other oxygen-containing compounds begins to increase.

Keywords: essential oil, *Abies sibirica* Ldb., chemical composition, terpenes, pollution.

References

1. *Lesa Kirovskoy oblasti*. [Forests of the Kirov region]. Ed. A.I. Vidyakin, T.YA. Ashikhmina, S.D. Novoselov. Kirov, 2007, 400 p. (in Russ.).
2. *O sostoyanii okruzhayushchey sredy Kirovskoy oblasti v 2018 godu: Regional'nyy doklad*. [On the state of the environment of the Kirov region in 2018: Regional report]. Ed. A.V. Albegova. Kirov, 2019. 194 p. (in Russ.).
3. *O sostoyanii okruzhayushchey sredy Kirovskoy oblasti v 2018 godu: Regional'nyy doklad*. [On the state of the environment of the Kirov region in 2018: Regional report]. Ed. A.V. Albegova. Kirov, 2018, 173 p. (in Russ.).
4. Adamovich T.A., Ashikhmina T.YA. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2017, no. 2, pp. 15–24. DOI: 10.25750/1995-4301-2017-3-015-024. (in Russ.).
5. Rudakov G.A. *Khimiya i tekhnologiya kamfory*. [Chemistry and technology of camphor]. Moscow, 1976, 208 p. (in Russ.).
6. *GOST ISO 10869-2015. Maslo efirnoye sibirskoy pikhty (Abies sibirica Lebed). Tekhnicheskiye usloviya*. [State standard ISO 10869-2015. Essential oil of Siberian fir (*Abies sibirica* Lebed). Technical conditions]. Moscow, 2016, 11 p. (in Russ.).
7. Stepen' R.A., Esyakova O.A. *Khvoynnye boreal'noy zony*, 2007, vol. 24, no. 1, pp. 122–127. (in Russ.).
8. Ushanov S.V., Stepen' R.A., Ushanova V.M. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2017, no. 1, pp. 129–136. DOI: 10.14258/jcprm.2017011448. (in Russ.).
9. Lobanov V.V., Stepen' R.A. *Khvoynnye boreal'nyye zony*, 2004, vol. 22, no. 1–2, pp. 148–156. (in Russ.).
10. Schicchi R., Geraci A., Rosselli S., Maggio A., Bruno M. *Chemistry&Biodiversity*, 2017, vol. 14, issue 2, e1600254. DOI: 10.1002/cbdv.201600254.
11. Polyakov N.A., Dubinskaya V.A., Efremov A.A., Efremov E.A. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 2014, vol. 48, issue 7, pp. 456–460.
12. Satyal P., Setzer W.N. *American Journal of Essential Oils and Natural Products*, 2017, vol. 5, no. 1, pp. 22–26.
13. Lamotkin S.A., Skakovskiy Ye.D., Mekhanikova Ye.G., Gil' Ye.V., Romanyuk L.I. *Trudy BGTU. Seriya 2*, 2019, no. 1, pp. 17–24. (in Russ.).
14. Kalinina E.S., Reznik Ye.N. *Perspektivy nauki – 2017: Sbornik dokladov VI Mezhdunar. konkursa nauchno-issledovatel'skikh rabot*. [Prospects for Science – 2017: Collection of reports of the VI Int. competition of research papers]. Kazan, 2017, pp. 344–347. (in Russ.).
15. Efremov E.A., Efremov A.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2010, no. 3, pp. 121–124. (in Russ.).
16. Efremov E.A., Nazirov R.A., Efremov A.A. *Vestnik KrasGAU*, 2014, no. 12, pp. 89–93. (in Russ.).
17. Stepen' R.A. *Khvoynnye boreal'noy zony*, 2017, no. 1–2, pp. 123–126. (in Russ.).
18. Lamotkin S.A., Vladykina D.S., Skakovskiy E.D. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2012, no. 2, pp. 111–117. (in Russ.).
19. Bazhina E.V. *Sibirskiy lesnoy zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 103–112. DOI: 10.15372/SJFS20160610. (in Russ.).
20. Soldatova S.YU., Dubrovin G.A., Smirnov D.A. *Byulleten' nauki i praktiki – bulletin of science and practice*, 2016, no. 8, pp. 49–57. (in Russ.).
21. Grigorenko A.V., Gribov A.I. *Vestnik Permskogo universiteta*, 2015, no. 4, pp. 359–365. (in Russ.).

Received February 19, 2020

Revised March 18, 2020

Accepted April 7, 2020

For citing: Solovyova E.S., Adamovich T.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 3, pp. 291–297. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2020037398.

* Corresponding author.

