

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ ИНСТИТУТ ОЗЕРОВЕДЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК

На правах рукописи



Митрукова Галина Геннадьевна

**КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ И АНТИБАКТЕРИАЛЬНАЯ
АКТИВНОСТЬ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ РДЕСТА ТУПОЛИСТНОГО
(*POTAMOGETON OBTUSIFOLIUS* Mert. et Koch) И РОГОЛИСТНИКА
ТЁМНО-ЗЕЛЁНОГО (*CERATOPHYLLUM DEMERSUM* L.)**

03.02.08 - экология

Научный руководитель:
доктор биологических наук, профессор
Курашов Евгений Александрович

Санкт-Петербург - 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Глава 1. Характеристика низкомолекулярных органических соединений в составе эфирных масел высших растений и их роль в водных экосистемах (обзор литературы).....	11
1.1. Высшие водные растения и аллелопатическое регулирование состава и развития бактериально-водорослевых сообществ в водных экосистемах	11
1.2. Качественный состав и количественное содержание эфирных масел высших растений	17
1.3. Антибактериальная активность эфирных масел.....	40
Глава 2. Материалы и методы исследования.....	43
2.1 Общая характеристика объектов исследования.....	43
2.2 Выделение эфирных масел.....	46
2.3 Методы исследования химического состава эфирных масел.....	47
2.4 Методы исследования антибактериальной активности эфирных масел.....	49
Глава 3. Компонентный состав эфирного масла рдеста туполистного.....	51
Глава 4. Компонентный состав эфирного масла роголистника тёмно-зелёного.....	86
Глава 5. Антибактериальная активность эфирных масел рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного	124
Глава 6. Возможная экологическая роль и перспективы использования ЛНОС рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного.....	130
Выводы.....	139
Список литературы.....	141

Список сокращений:

ВР – водные растения.

ЛНОС – летучие низкомолекулярные органические соединения.

МПК – минимальная подавляющая концентрация.

ПЦ – производные циклопентанпергидрофенантрена.

RT – время удерживания.

IK – индекс Ковача.

ВВЕДЕНИЕ

Живые организмы неразделимо связаны и находятся в постоянном взаимодействии как друг с другом, так и с абиотическим окружением (Одум, 1986).

Микробно-растительные взаимоотношения лежат в основе поддержания жизни на планете. Микроорганизмы образуют разнообразные биотические связи практически со всеми организмами. Основные формы межвидовых биотических связей – это антибиоз, симбиоз и нейтрализм. В основе взаимодействия между различными организмами могут быть трофические, пространственные, форические, защитные и другие типы связей (Нетрусов, 2004). Значительную роль в регуляции разнообразных процессов взаимоотношения между водными организмами играют летучие низкомолекулярные органические соединения (ЛНОС), синтезируемые водными растениями. Благодаря синтезу и выделению различных химических соединений, высшие водные растения, водоросли и бактерии вступают в разнообразные аллелопатические взаимодействия в гидробиоценозах (Гуревич, 1978; Метейко, 1978; Сакевич 1985; Fink, 2007; Ну, Hong, 2008; Курашов, Крылова, 2013 и др.). Значительную роль в существовании и функционировании водных экосистем обеспечивают растительные организмы, поэтому изучение метаболитов макрофитов и их влияния на бактериально - водорослевые сообщества представляет наибольший интерес. Установление химической природы метаболитов растений и их трансформации в водной среде имеет значение не только для оценки процессов самоочищения водоемов от патогенной микрофлоры, но и для получения природных антимикробных, фунгицидных и альгицидных препаратов с использованием водных макрофитов. С помощью метаболитов, выделяемых определенными видами макрофитов теоретически возможно предотвращать, регулировать или подавлять процессы «цветения» воды (Метейко, 1978; Gross et al., 1996; Gross et al., 2003; Ну, Hong, 2008; Курашов, Крылова, 2013 и др.).

Необходимо отметить, что качественный состав и количественное содержание метаболитов, продуцируемых организмами находится в зависимости не только от определенного биотического окружения (Рощина, Рощина, 1989; Fink, 2007; Ткачѐв, 2008; Hu et al., 2008 и др.), но и абиотических факторов среды обитания (Метейко, 1978; Sangwan et al., 2001; Королук и др., 2002; Gross, 2003б; Ткачѐв, 2008 и др.). К сожалению, в отношении водных растений имеется мало литературных сведений о качественном составе и количественном содержании ЛНОС большинства водных макрофитов, а также о функциях, которые эти соединения выполняют в водных экосистемах.

Литературные данные по изучению биотических связей между пресноводными высшими водными растениями и бактериями в основном ограничены трофическими взаимоотношениями (Горленко и др., 1977; Кокин, 1982; Ратушняк, 2002; Кудряшов, Садчиков, 2005), пространственными и защитными (Кокин, 1982; Бухарин, Литвин, 1997; Эпидемиологические..., 1997; Кудряшов, Садчиков, 2005), в нашей стране исследования ингибирующего влияния водных и прибрежно-водных макрофитов на микроорганизмы были начаты Ф. А. Гуревичем в 40-х годах XX века (Гуревич, 1978). На современном научном уровне наиболее эффективно ЛНОС можно изучать только при помощи хромато-масс-спектрометрических комплексов, так как необходимо до химической формулы определять аллелохимические агенты выделяемые растениями в составе эфирного масла и их роль в гидробиоценозах. В России, в настоящее время, изучению экзометаболитов водных макрофитов уделяется крайне мало внимания, в то время как в мире исследования ингибирующего влияния вторичных метаболитов водных растений на другие организмы, в том числе и бактерии, интенсивно развиваются (Erhard, 2006; Qiming et al., 2006б; Hu, Hong, 2008; Macías et al., 2008). Количество видов высших водных растений, для которых установлена бактерицидная активность ограничено и необходимо продолжать данные исследования.

Сведений о компонентном составе эфирного масла рдеста туполистного (*Potamogeton obtusifolius* Mert. et Koch), его качественном составе, количественном содержании и изменении в течение сезона в литературе не имеется.

Анализ литературных данных по химическому составу рдестов показывает, что они содержат до 25% клетчатки, 14.7% сырого протеина, 2.4% жира, 44.9% безазотистых экстрактивных веществ (Ширшова и др., 1999). В большинстве видов рдеста флоры России обнаружены флавоноиды, аскорбиновая кислота, каротиноиды (Растительные..., 1994). Имеются данные о жирнокислотном и липидном составе некоторых видов рода *Potamogeton* (Ширшова и др., 1999; Розенцвет и др., 2000). Ряд авторов Хирная (1980), Фучеджи (2008) исследовали количественные и качественные изменения аминокислотного и полисахаридного состава некоторых представителей семейства Potamogetonaceae в зависимости от возраста растений, условий обитания (Хирная 1980; Фучеджи, 2008). Состав летучих низкомолекулярных органических соединений (ЛНОС) рдестов изучен очень слабо. Сведения об отдельных ЛНОС таких видов рдестов как *P. pectinatus* L., *P. lucens* L., *P. perfoliatus* L., *P. nodosus* Poir., *P. natans* L. и *P. ferrugineus* Hagstr. содержатся в работах Waridel et al. (2003, 2004a, 2004b). Сведений о компонентном составе ЛНОС *P. obtusifolius*, о его изменении в течение сезона в литературе не имеется.

Анализ литературных данных по химическому составу роголистника погруженного (*Ceratophyllum demersum* L.) показывает, что он содержит стерины: ситостерин (74% от общего количества стеринов), холестерин, стигмастерин, брассикастерин и некоторые другие стерины, а также бензол и его производные (бензилацетат), флавоноиды, например 7-О-глюкозид апигенина (Bankova et al., 1995). *C. demersum* содержит до 17% белков, является кормом для водных промысловых грызунов и водоплавающей птицы, может служить пищей для домашних уток и гусей (Матвеев и др., 2005). Pir и Philipp

(1990) исследовали изменения сезонного содержания белков, жирных кислот и алкалоидов у *C. demersum* L. (Pip, Philipp, 1990). Литературных данных о компонентном составе ЛНОС роголистника тёмно-зелёного крайне мало, имеется лишь публикация о компонентном составе эфирного масла *C. demersum*, произрастающего на территории Китая (КНР) (Qiming et al, 2006a). Эти же авторы изучили аллелопатическую активность эфирного масла *C. demersum* в отношении *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing. (Qiming et al, 2006b). Сообщается также о медицинском значении этого растения, так как оно используется в традиционной китайской и индийской медицине (Qiming et al, 2006a). Информации о качественных и количественных изменениях в составе ЛНОС эфирного масла в онтогенезе роголистника тёмно-зелёного не имеется.

Цель работы - исследовать компонентный состав ЛНОС и антимикробную активность эфирных масел рдеста туполистного (*Potamogeton obtusifolius* Mert. et Koch) и роголистника тёмно-зелёного (*Ceratophyllum demersum* L.) в разные периоды вегетации растений, выявить качественные и количественные различия в составе эфирных масел растений произрастающих в разных экологических условиях, а также описать возможную экологическую роль выявленных соединений.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Выделить эфирные масла *P. obtusifolius* и *C. demersum*;
2. Идентифицировать ЛНОС, входящие в состав эфирных масел исследуемых растений;
3. Оценить качественные и количественные изменения в составе ЛНОС эфирных масел в онтогенезе растений;
4. Выявить качественные и количественные различия в составе эфирных масел растений произрастающих в разных экологических условиях;
5. Выявить качественный состав и количественное содержание не только содержащихся в тканях растений ЛНОС, но и выделяемых в воду в виде внеклеточных метаболитов;

6. Исследовать антибактериальную активность выделенных эфирных масел;

7. Оценить роль летучих низкомолекулярных органических соединений рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного в формировании биотических связей с другими водными организмами.

8. Оценить перспективы практического использования ЛНОС водных макрофитов.

Научная новизна.

Впервые в мире исследован компонентный состав и сезонные изменения состава ЛНОС эфирных масел побегов рдеста туполистного (*P. obtusifolius*). Впервые исследован компонентный состав ЛНОС роголистника тёмно-зелёного (*C. demersum*) российских популяций. Впервые для высших водных растений указано присутствие в них важных для различных сфер человеческой деятельности соединений, в том числе маноола и биформена. Показано, что качественный состав и количественное содержание метаболитов продуцируемых организмами, изменяется в онтогенезе растений и находится в зависимости от условий среды обитания. Определена антибактериальная активность ЛНОС рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного.

Теоретическое и практическое значение.

Полученные данные расширяют теоретические представления о межвидовых аллелопатических взаимоотношениях в гидробиоценозах, влиянии условий произрастания макрофитов на качественный состав и количественное содержание ЛНОС высших растений. Установление химической природы и трансформации в водной среде вторичных метаболитов водных растений необходимо для познания процессов самоочищения водоемов от патогенной микрофлоры и для создания природных антимикробных, фунгицидных и альгицидных препаратов, а также их синтетических аналогов.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были представлены на VII Международной конференции по водным макрофитам

«ГИДРОБОТАНИКА 2010» (Борок, 2010 г.), II молодежном экологическом конгрессе «Северная пальмира» (Санкт-Петербург, 2010 г.), международной научно-практической конференции «Экологическое равновесие: антропогенное вмешательство в круговорот воды в биосфере» (Пушкин, 2011 г.), IV Региональной школе-конференции молодых ученых «Водная среда и природно-территориальные комплексы: исследование, использование, охрана» (Петрозаводск, 2011 г.), IV Международной конференции «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды» (Нарочь, 2011), сессии Ученого совета Института озераведения РАН (2011 г.), специальном семинаре био-фармацевтического института Дюссельдорфского университета (Германия, Дюссельдорф, 2012), 32-м Конгрессе Международного Лимнологического Общества (SIL) (Венгрия, Будапешт, 2013).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 работ, в числе которых 4 статьи в изданиях перечня ВАК РФ.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Компонентный состав эфирных масел рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного разнообразен и существенно изменяется не только в разные периоды вегетации растений, но и зависит от условий произрастания растений.

2. Водные макрофиты активно продуцируют ЛНОС в воду в виде внеклеточных метаболитов.

3. Эфирные масла рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного обладают антибактериальной активностью, тем самым оказывая влияние на формирование макрофитно - бактериальных сообществ.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав, выводов и списка литературы. Работа изложена на 168 страницах, содержит 11 таблиц и 24 рисунка. Список литературы включает 249 литературных источников, в том числе 143 на английском языке.

Благодарности. За помощь в определении видовой принадлежности растений автор благодарит к.б.н. Ефимова П. Г. (БИН РАН), к.б.н. Конечную Г. Ю. (БИН РАН), к.б.н. Русанова А. Г. (ИНОЗ РАН), к.б.н. Киприянову Л.М. (Новосибирский филиал ИВЭП СО РАН), за консультации по отдельным вопросам при выполнении диссертации автор благодарит к.б.н. Ананьеву Е. П. (СПХФА), к.г.н. Игнатьеву Н. В. (ИНОЗ РАН), к.б.н. Капустину Л. Л. (ИНОЗ РАН), к.г.н. Крылову Ю. В. (СПбГУ), Сусареву О. М. (ИНОЗ РАН), к. б. н. Тихомирову О. М. (СПХФА), за техническую поддержку - Дудакова М. О. (ИНОЗ РАН), к.б.н. Дудакову Д. С. (ИНОЗ РАН), к.б.н. Жаковскую З.А. (НИЦЭБ РАН).

ГЛАВА 1. ХАРАКТЕРИСТИКА НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В СОСТАВЕ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ И ИХ РОЛЬ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Высшие водные растения и аллелопатическое регулирование состава и развития бактериально-водорослевых сообществ в водных экосистемах.

Взаимодействие организмов началось с момента возникновения жизни на Земле (Бухарин, 2007). Биотические отношения между популяциями разных видов, составляющих биоценоз, чрезвычайно многообразны. Особи разных видов могут существовать нейтрально относительно друг друга, а также вести совместную жизнь с взаимной пользой. Однако отношения организмов с окружающей средой и друг с другом могут быть и антагонистическими (Большая медицинская..., 1974).

Важная роль в процессах формирования гидробиоценозов принадлежит химическим взаимосвязям между организмами. Синтезируя и выделяя в окружающую среду разнообразные химические соединения, организмы вступают в разнообразные взаимоотношения в гидробиоценозах, как симбиотические, так и антагонистические (Горбенко, 1973; Горленко и др., 1977; Сакевич, 1985; Звягинцев и др., 1993; Gross, 2003a; Erhard, 2006; Qiming et al., 2006b; Бухарин и др. 2007; Нц, Hong, 2008; Macías et al., 2008 и др.). Литературные данные по изучению симбиотических связей между пресноводными высшими водными растениями и бактериями в основном ограничены трофическими взаимоотношениями (Горленко и др., 1977; Кокин, 1982; Ратушняк, 2002; Кудряшов, Садчиков, 2005), пространственными и защитными (Кокин, 1982; Бухарин, Литвин, 1997; Эпидемиологические..., 1997; Кудряшов, Садчиков, 2005). Литературные данные по изучению антибиотических межпопуляционных взаимоотношений в основном касаются антагонистических отношений между разными видами высших водных растений (Elakovich, Wooten, 1991; Gross, 2003a; Erhard, 2006), водорослями и

бактериями (Сакевич, 1985; Немцева, 1998; Бухарин и др., 2008), высшими водными растениями и водорослями (Aliotta et al., 1990; Greca et al., 1996; Баланда и др., 2004; Erhard, 2006; Hu, Hong, 2008; Macías et al., 2008). Количество исследований посвященных ингибирующему влиянию метаболитов высших водных растений на гетеротрофные микроорганизмы ограничено.

Согласно литературным данным, развитие водорослей активно подавляют полифенолы, выделяемые высшими водными растениями (Greca et al., 1996; Erhard, Gross, 2006). Однако, фенольные компоненты одного и того же водного растения проявляют различную активность в отношении водорослей. Так, например, одинаковые концентрации вторичных метаболитов *Myriophyllum spicatum* L. на некоторые виды водорослей оказывают сильное ингибирующее влияние, а в отношении других менее активны (Gross et al., 1996). Отличия в восприимчивости к экзометаболизмам могут быть результатом адаптации к ним (Erhard, Gross, 2006). Механизм действия полифенолов на клетки водорослей заключается в подавлении их ферментативной активности (Gross et al., 1996), угнетении процесса фотосинтеза (Leu et al., 2002).

Показано, что жирные кислоты, продуцируемые и выделяемые в окружающую среду водными макрофитами, оказывают ингибирующее воздействие на некоторые виды водорослей (Aliotta et al., 1990). Аллелопатическим агентом является и жасмоновая кислота, и её производные, принимающие участие в межвидовых взаимодействиях водных растений. Так, например, высокие концентрации жасмоновой кислоты приводят к уменьшению количества фотосинтетических пигментов и содержанию моносахаридов у зелёной водоросли *Chlorella vulgaris* Beijerinck (Chlorophyceae), а низкие, наоборот стимулируют рост и развитие водоросли (Czerpak et al., 2006).

Многие *энт*-лабдановые дитерпены также проявляют альгицидную активность. Интересно, что некоторые из них, так же как и жасмоновая

кислота, при внесении в низких концентрациях обладают стимулирующим действием, а в высоких – ингибирующим (Greca et al., 2000).

Имеются сведения о способности вторичных метаболитов некоторых водных макрофитов ингибировать рост и развитие фототрофных бактерий (Коган, 1977; Сакевич, 1985; Jasser, 1995; Gross et al., 1996; Баланда и др., 2004; Кудряшов, Садчиков, 2005; Erhard, 2006; Qiming et al., 2006б; Hu, Hong, 2008 и др.). Аллелопатическое влияние выделений высших водных растений на цианобактерии обусловлено, в основном, веществами фенольной природы, которые экскретируются в воду как прижизненно, так и после отмирания макрофитов (Усенко, Сакевич, 2005). Так, например, полифенолы *Myriophyllum spicatum* L. проявляют ингибирующую активность в отношении цианобактерий, подавляя их ферментативную активность (Gross et al., 1996). Губительно влиять на фототрофные бактерии могут некоторые фенолокислоты, например кумаровая кислота, ванилиновая (Zhang et al., 2010). Кроме фенолокислот рост и размножение цианобактерий могут подавлять некоторые жирные кислоты, такие как нонановая, цис-6-октадеценовая и цис-9-октадеценовая (Aliotta et al., 1990; Nakai et al., 2005). Необходимо отметить, что вторичные метаболиты, выделяемые водными растениями, проявляют различную активность не только в отношении водорослей, но и цианобактерий. Так, например, одинаковые концентрации вторичных метаболитов *Myriophyllum spicatum* L. на *Oscillatoria* sp. и *Microcystis aeruginosa* Kütz. оказывают сильное ингибирующее влияние, а в отношении других (*Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Born. et Flah.) – практически не эффективны (Korner, Nicklisch, 2002). Исследования экстрактов *S. demersum*, также показали, что у разных видов цианобактерий чувствительность к экстрактам роголистника отличается (Jasser, 1995).

Однако, количество работ посвященных ингибирующему влиянию метаболитов высших водных растений на гетеротрофные микроорганизмы ограничено. Особенно мало исследований связанных с исследованием влияния ЛНОС макрофитов на бактерии. К настоящему времени изучена

антимикробная активность кубышки жёлтой, которая связана в основном с содержанием в ней алкалоидов (Вичканова, 1981; Баланда и др., 2004), противомикробный эффект урути колосистой связан с наличием в растении полифенолов (Walenciak et al., 2002). Многие водные растения содержат танины, обладающие антимикробной активностью, например представители семейства Haloragaceae (Gross, 2003б). Информация по антибактериальной и фунгицидной активности танинов обобщена в работе Scalbert A. (1991), в которой сообщается, что биологическая активность данных веществ связана с ингибированием микробных ферментов и окислительного фосфорилирования (Scalbert, 1991). Bankova с соавторами (1995) при исследовании вторичных метаболитов роголистника погружённого, отметили его антибактериальную активность, обусловленную наличием флавоноидов (Bankova et al., 1995). Фталаты, обнаруженные в больших количествах в водных растениях (Qiming et al., 2006а, 2006б; Курашов, Крылова, 2013), обладают антибактериальной и фунгицидной активностью (Roy et al., 2006). Важной группой биологически активных соединений являются альдегиды, участвующие в эколого-биохимических взаимодействиях макрофитов с другими организмами. Альдегиды обладают ингибирующим действием на микроорганизмы (Рощина, Рощина, 1989).

Растения и бактерии - важнейшие компоненты водных экосистем и представляют основные группы их продуцентов и редуцентов. Весь комплекс процессов формирования качества природных вод зависит от нормального функционирования этих звеньев (Сиренко, 1989). В водоеме бактерии находятся во взвешенном состоянии, на водных организмах в составе обрастаний и в донных отложениях. Стебли и листья водных растений являются местом обитания как водорослей, так и бактерий (Кокин, 1982). В монографии Литвина В. Ю. с соавторами «Эпидемиологические аспекты экологии бактерий» на основании анализа отечественной, зарубежной литературы и результатов собственных исследований отмечается, что

растения могут служить природным резервуаром патогенных бактерий, обеспечивая их существование в межэпидемические периоды, способствуя реализации водного пути передачи возбудителя (Эпидемиологические..., 1997). Взаимоотношения организмов, в том числе и гидробионтов, лежат в основе эволюции видов, в формировании, развитии и смене биоценозов (Сакевич, 1985). С этими процессами неразрывно связано химическое взаимоотношение между видами. Растения выделяют метаболиты различной химической природы, оказывающие влияние на формирование гидроценоза, определяющие взаимоотношения между растениями и организмами-деструкторами, и в первую очередь бактериями. Совокупность этих веществ может рассматриваться как элемент окружающей среды, создаваемой растениями (Метейко, 1978; Курашов, Крылова, 2013). В результате биохимических реакций в растениях образуются вещества, некоторые из которых выводятся наружу, другие накапливаются в клетках и межклеточном пространстве. Физиологически активными веществами могут быть и продукты распада, выделяющиеся из мертвых тканей (Ипатов, Кирикова, 1997). В то время как некоторые продукты метаболизма высших водных растений могут стимулировать деятельность микроорганизмов, обитающих на их поверхности и непосредственно в воде, другие экзометаболиты вызывают угнетение их развития. Прижизненно выделяемые макрофитами вещества (аминокислоты, углеводы, органические кислоты, летучие амины и др.) являются стимуляторами и питательными средами для нефтеокисляющих и гетеротрофных микроорганизмов (Кудряшов, Садчиков, 2005). Так, например, действие аминокислот проявляется в более быстром переходе от лаг- к лог-фазе, более интенсивном росте биомассы бактерий (Ратушняк, 2002). Ингибиторы, продуцируемые высшими растениями и действующие на микроорганизмы (и животных), принято называть фитонцидами (Токин, 1967; Ипатов, Кирикова, 1997). Открытие фитонцидов Токиным Б. П. стимулировало развитие аллелопатических исследований. Необходимо отметить, что по мере

роста, развития, старения и отмирания высших водных растений меняется их характер взаимоотношений с сапрофитной микрофлорой. Экспериментальные исследования, проведенные с некоторыми высшими водными растениями: кубышкой жёлтой, водяным орехом, элодеей и некоторыми другими растениями, показали, по мере роста макрофитов численность бактерий снижается, что связано с выделением в воду растениями фитонцидов, тормозящих развитие бактерий. В природных условиях содержание сапрофитной микрофлоры в зарослях погруженных водных растений, как правило, ниже, чем на открытых участках. При постепенном отмирании водных макрофитов, повышается содержание в прибрежной зоне легкоусвояемого органического вещества и увеличивается количество бактерий в зарослях растений (Кокин, 1982).

Первые исследования фитонцидов водных и прибрежно-водных растений начаты Ф. А. Гуревичем еще в 40-х годах XX века. По его мнению, биологическая роль метаболитов водных растений в ценозах водоемов разнообразна и должна рассматриваться в эколого-эволюционном аспекте (Гуревич, 1973; Метейко, 1978). «Процесс биохимической эволюции фитонцидов происходил, по-видимому, в двух направлениях: по линии продуцирования физиологически активных летучих веществ и выделений, содержащихся в тканевых соках. Такая эволюция защитных механизмов давала возможность растениям создавать двойной «оборонительный» заслон от проникновения в их тело различных патогенных бактерий, грибов, одноклеточных животных и других организмов и, тем самым, предохранять себя от их воздействий» (Гуревич, 1973 с. 11). Продуцирование биологически активных веществ с антимикробной активностью – эволюционно развившееся свойство, без которого растения не выдержали бы борьбы с разнообразными фитопатогенными микроорганизмами. Но некоторые бактерии в свою очередь адаптировались к защитным биологически активным веществам, выделяемым растениями, что в результате обусловило нормальное функционирование

экосистем (Айзенман и др., 1984). Последующими исследованиями показано, что продукция биологически активных веществ свойственна всем без исключения водным и прибрежно-водным растениям и зависит от фазы развития растений, их физиологического состояния, биотического окружения, сезонных, климатических и других условий (Pip, Philipp, 1990; Gross, 2003б; Баланда и др., 2004; Bushmann, Ailstock, 2006; Ширшова и др., 2012 и др.).

Таким образом, метаболиты высших водных растений принимают участие в аллелопатических взаимодействиях с другими гидробионтами в водных экосистемах. Именно поэтому для понимания функционирования гидробиоценоза необходимо изучение биологически активных веществ макрофитов.

1.2. Качественный состав и количественное содержание эфирных масел высших растений.

Душистые вещества известны человеку с глубокой древности, обладающие запахом вещества, широко применялись в эстетических, гигиенических и медицинских целях. Эфирные масла можно получить из разных частей растений и известно много способов их выделения. Еще в VIII – IX веках на Востоке для извлечения душистых веществ из растений применяли метод перегонки с паром. Древним цивилизациям были известны также методы извлечения душистых веществ с помощью экстракции растительными маслами или расплавленными жирами и «выдавливание» - выдавливание масла руками из поверхности плодов цитрусовых на специальную губку. В XX веке для экстракции начали использовать летучие растворители. Получаемые после отгонки растворителя экстракты (конкреты) имеют более сложный по сравнению с эфирными маслами состав и включают не только летучие с водяным паром вещества, но и нелетучие соединения, способные экстрагироваться растворителем. Химический состав эфирных масел весьма сложен. В них могут присутствовать десятки, а порой сотни компонентов

(Усов, Крапивина, 2003; Ткачев, 2008; Курашов, Крылова, 2013). Согласно определению, данному в Большой советской энциклопедии: «эфирные масла – многокомпонентные смеси органических соединений, главным образом терпенов и их кислородсодержащих производных- спиртов, кетонов, альдегидов, эфиров и других соединений» (Большая советская..., 1978 с. 504). Свое название эфирные масла получили благодаря наличию характерного ароматного запаха и маслообразной консистенции. В отличие от жирных масел они испаряются, не оставляя жирного пятна.

В настоящее время активно обсуждаются гипотезы относительно роли вторичных метаболитов в интактном растении, наиболее распространенной является концепция о том, что вторичные метаболиты играют роль в защите растений от абиотических и биотических стрессовых факторов (Носов, 1994), а также являются сигнальными соединениями, участвующими во взаимоотношениях растений с другими организмами (Васильева, Пасешниченко, 1999).

Эфирные масла могут накапливаться в любых органах растений: цветках (например, роза), плодах (цитрусовые), листьях (представители семейства яснотковых), в подземных органах (ирис, аир). Их содержание для различных растений составляет от тысячных долей процента до 5%, а для некоторых видов, например бутонов гвоздичного дерева, - 20%. Эфирное масло в растениях локализуется, как правило, в специальных образованиях. Различают экзогенные, расположенные в наружных тканях, пространственно связанные с эпидермисом образования и эндогенные (внутренние). К экзогенным местелищам относят: а) эфирномасличные железки, которые имеют различное строение; б) железистые волоски; в) железистые «пятна». Эндогенные местелища развиваются во внутренних тканях растений и подразделяются на: а) эфирномасличные местелища; б) эфирномасличные каналца; в) секреторные ходы; г) специализированные паренхимные клетки (Ладыгина и др., 1983).

Обширный материал, касающийся изменения содержания эфирных масел в онтогенезе растений, принадлежащих к разным семействам, его количественного содержания и качественного состава из различных органов растений представлен в монографиях многих авторов (Рутовский, 1931; Бодруг, 1981; Чернодубов, Дерюжкин, 1990; Степень, Репях, 1998 и др.) и многочисленных статьях, особенно за последние 20 лет, в связи с появлением технических возможностей, в том числе хромато-масс-спектрометрических комплексов (Зарубина и др., 1993; Палей и др., 1996; Тропникова и др., 1998; Ткаченко, Ткачев, 2002; Qiming et al., 2006a; Busatta et al., 2007; Graikou et al., 2012 и др.). Однако, все эти исследования касаются, в основном, наземных растений. Выявлено, что в процессе развития растений содержание эфирного масла увеличивается, у большинства макрофитов его количество достигает максимума во время цветения, для некоторых растений максимальное накопление эфирного масла отмечено в период массового созревания плодов (Бодруг, 1981; Баширова и др., 1998; Бахтенко, Курапов, 2008). Более высокое содержание эфирного масла в листьях, стеблях или соцветиях зависит от вида растения. Так, Бодруг (1981) выяснил, что у мяты болотной (мяты блошницы) (*Mentha pulegium* L.) наибольшее количество эфирного масла содержится в листьях – 1.17%, меньшее в соцветиях (0.12%) и стеблях (0.09%), в то время как мята полевая (*Mentha arvensis* L.) максимальное количество эфирного масла содержит в соцветиях – 1.11% и меньше в листьях – 0.2% (Бодруг, 1981). Так же известно, что биосинтез многих вторичных соединений происходит только в специальных органах и только на определенных фазах развития организмов (Лукнер, 1979). Образование, накопление и химический состав эфирных масел в растениях изменяется в онтогенезе. Показательным в этом отношении является кориандр посевной, эфирное масло плодов этого растения в период молочной спелости на 98% состоит из децилового альдегида (рис. 1), в период полной спелости содержание альдегида составляет 0.1%, а в составе

кориандрового масла преобладает линалоол (70%), его масс-спектр и структурная формула показаны на рис. 2 (Бахтенко, Курапов, 2008).

Отмечена тенденция увеличения содержания эфирного масла в наземной части травянистых растений, произрастающих в южных регионах по сравнению с таковыми растениями северных областей (Тропникова и др., 1998; Бахтенко, Курапов, 2008), в то время как у хвойных растений наблюдается возрастание содержания эфирного масла от южных к северным регионам (Степень, Репях, 1998).

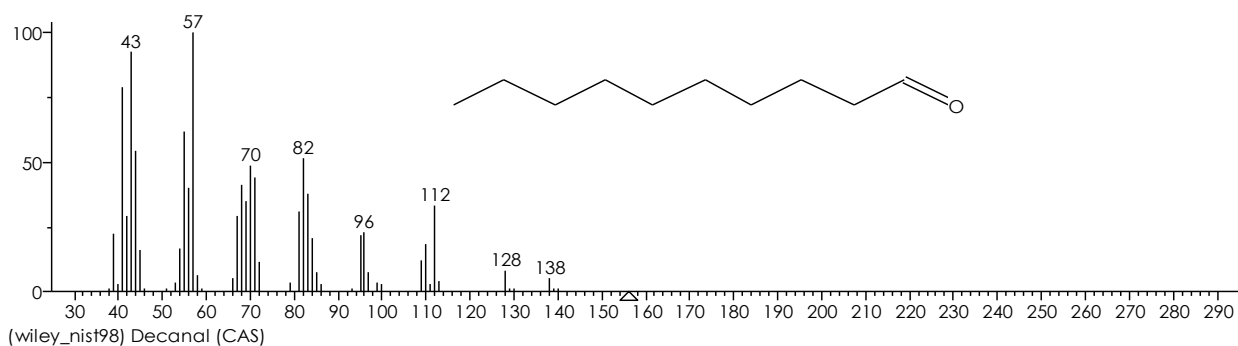


Рис. 1. Масс-спектр и структурная формула децилового альдегида (деканалья).

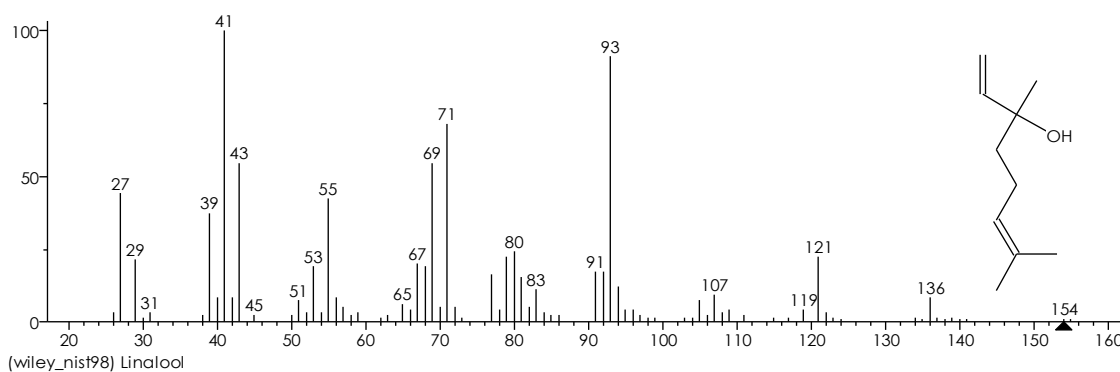


Рис. 2. Масс-спектр и структурная формула линалоола.

Ряд исследователей (Танасиенко, 1985; Кинтя и др., 1990; Чернодубов, Латыш, 1993; Тропникова и др., 1998; Voira, Blanquer, 1998; Russo et al., 1998; Казаринова и др., 2002; Ткаченко, Ткачев, 2002; Шаварда и др., 2004; Angioni et

al., 2004; Price, 2007 и др.) изучали химический состав ЛНОС растений одного вида, но относящихся к разным хемотипам и пришли к выводу, что эфирное масло разных хемоформ сильно отличается по количественному соотношению компонентов, качественный состав практически одинаков (Танасиенко, 1985; Кинтя и др., 1990; Чернодубов, Латыш, 1993; Тропникова и др., 1998; Voira, Blanquer, 1998; Казаринова и др., 2002; Ткаченко, Ткачев, 2002; Шаварда и др., 2004; Angioni et al., 2004; Price, 2007). Хемотипы могут отличаться по наличию/отсутствию незначительного количества минорных компонентов (Voira, Blanquer, 1998; Angioni et al., 2004). Так, хороший пример растения, имеющего несколько хемотипов, практически неразличимых по внешним признакам, — Тимьян обыкновенный (*Thymus vulgaris* L.). Разные его хемотипы дают эфирное масло разного состава. Основным компонентом тимьянового эфирного масла может быть, например, одно из веществ: карвакрол, гераниол, линалоол, тимол, существуют и другие хемотипы *Thymus vulgaris* L. (рис. 3) (Price, 2007). Эти вещества обнаружены нами и в водных растениях. Причем, у растений наблюдается наследуемость биосинтеза ЛНОС и эфирные масла, полученные из наземных частей растений, относящихся к одному хемотипу, но произрастающие в разных природно-климатических условиях, сохраняют свои химические особенности (Рутовский, 1931; Кинтя и др. 1990; Зарубина и др. 1993; Степень, Репях, 1998 и др.).

Таким образом, образование и накопление в растениях эфирных масел изменяется в онтогенезе макрофита, компонентный состав эфирных масел растений относящихся к одному виду, но разным хемотипам, основывается на разнообразии геномов и выражается в доминировании определенного компонента эфирного масла (Кинтя и др., 1990; Чернодубов, Латыш, 1993; Voira, Blanquer, 1998; Russo et al., 1998; Angioni et al., 2004 и др.).

Исследования компонентного состава эфирных масел показывают, что они являются смесью углеводов и их кислородных производных – спиртов, альдегидов, кетонов, простых и сложных эфиров, кислот и некоторых других

веществ, которые часто называют терпеноидами (изопреноидами) (Рощина, Рощина, 1989).

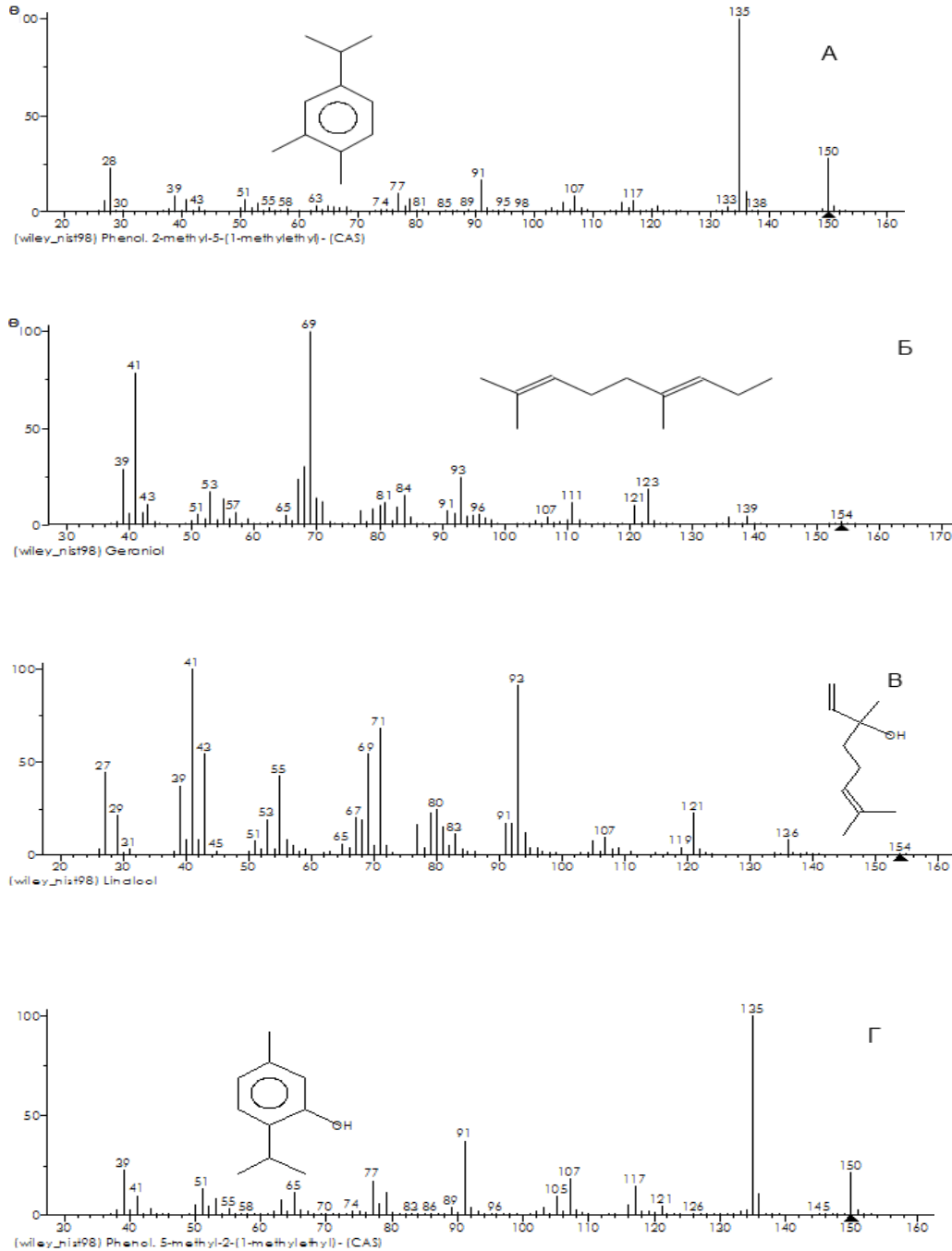


Рис. 3. Масс-спектры и структурные формулы основных компонентов эфирного масла Тимьяна обыкновенного: а) - масс-спектр и структурная формула карвакрола, б) - масс-спектр и структурная формула гераниола, в) - масс-спектр и структурная формула линалоола, г) - масс-спектр и структурная формула тимола.

Обычно эфирные масла содержат от нескольких десятков до нескольких сотен природных компонентов. Основу масла составляют макрокомпоненты, содержание которых составляет от одного до нескольких десятков процентов, и микрокомпоненты, содержащиеся в десятых, сотых и даже тысячных долях процента (Гуринович, Пучкова, 2005).

Среди компонентов эфирных масел чаще всего встречаются терпены (изопрены) – углеводороды, молекулы которых построены из изопреновых звеньев C_5H_8 (Большая советская..., 1976).

Несмотря на то, что функции большинства известных природных изопренов и изопреноидов во многом еще неизвестны, продемонстрировано их участие в самых различных процессах жизнедеятельности всего живого.

Согласно исследованиям, роль вторичных метаболитов связана с обеспечением внутривидовых и межвидовых взаимодействий (растение-растение, растение-насекомое, растение-грибы, растение-микроорганизмы), изопреноиды выполняют защитные, аттрактивные, сигнальные, феромонные и другие функции, а также являются гормонами растений и животных. Эту группу свойств можно определить как экологические свойства вещества (Племенков, 2007).

Различные свойства синтезируемых растениями соединений человек научился использовать для своих нужд - эфирные масла, настои и отвары растений, содержащие разнообразные вещества, в том числе терпены и терпеноиды, используются в народной медицине с давних времен; среди них найдены лекарственные средства (например, мощные противоопухолевые препараты на основе таксола); много различных изопреноидов применяют в парфюмерии как в нативном виде, так и в виде производных; отдельные терпеноиды или их природные композиции применяются в быту и промышленности в качестве растворителей, лаков. Часто эту группу биологических свойств называют бенефисными, так как в данном случае

продукты обмена веществ живых организмов проявляют активность в отношении посторонних, случайных организмов, например человека.

Исследования изопренов (изначально терпенов) были начаты во второй половине XIX века. В 1875 году Г. Бушорд термоллизом натурального каучука выделил изопрен (рис. 4), димеризацией которого получил лимонен. Первые изопреноиды были выделены из эфирных масел растений в 1891 г. О. Валлахом (монотерпены - лимонен, фелландрен, фенхон, терпинолен и др.); а в 1895 г. Е. Вагнер выделил α -пинен, установил строение лимонена, открыл перегруппировку борнеол-камфен. Наиболее важный вклад в химию изопреноидов в первой половине XX столетия внес Л. Ружичка, сформулировавший в окончательном виде «изопреновое правило» и изучивший большое количество сесквитерпенов, дитерпенов, тритерпенов, установил структуру ланостерола (Племенков, 2001).

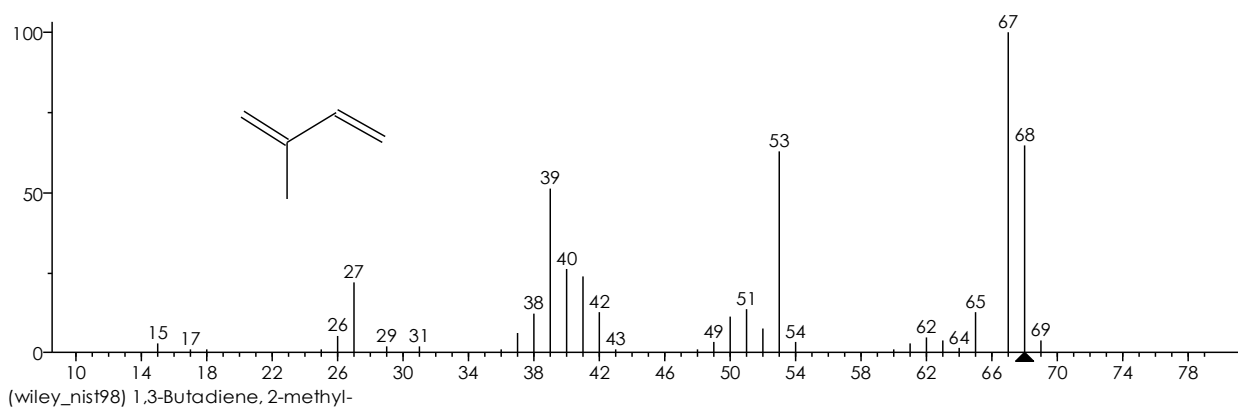


Рис. 4. Масс-спектр и структурная формула изопрена.

Классификация терпенов основана на количестве изо- C_5 - остатков в молекуле, при этом за единицу терпена принят фрагмент из двух изопреновых звеньев – в силу исторических причин: до недавнего времени найденные в природе терпены имели минимальный углеродный состав C_{10} . И только недавно во многих растениях были найдены изопрен и его производные. В

итоге их классификация выглядит следующим образом: гемитерпены – число атомов углерода пять, монотерпены (C_{10}), углеродный состав сесквитерпенов - C_{15} , дитерпенов - C_{20} , число атомов углерода у сестертерпенов – двадцать пять, углеродный состав тритерпенов - C_{30} , тетратерпены - C_{40} (Племенков, 2001).

Этот же автор считает, что биологические свойства продуцируемых организмами соединений следует рассматривать, во-первых, с позиции их значения собственно для организма-продуцента (эндогенное влияние) например ферменты, гормоны; во-вторых, с позиции влияния выделяемых соединений на контактирующие организмы; в-третьих - их активности по отношению к посторонним, случайным организмам (бенефисная активность).

Если рассматривать терпены и терпеноиды по группам, начиная с монотерпенов и их производных, то в настоящее время еще не найдены монотерпеноиды обладающие эндогенным влиянием; в данном отношении наибольшее количество химических веществ, обладающих эндогенным влиянием, были обнаружены среди более тяжелых представителей изопреноидов - сесквитерпенов, дитерпенов и тритерпенов.

У растений, активность второго типа (влияние на окружающие организмы) для монотерпеноидов является одной из главных, так как монотерпены и их производные выполняют важнейшие задачи жизнеобеспечения: воспроизводство с помощью веществ аттрактивного свойства и феромонов; защита растений от насекомых и насекомых от животных с помощью репеллентов, инсектицидов и токсинов (Племенков, 2007). Так, например, монотерпеновые углеводороды α -пинен и его изомер β -пинен входят в состав смол сосен и других хвойных деревьев и выступают как детерренты, отпугивающие насекомых. Однако, некоторые виды жуков – короедов не только преодолели этот защитный барьер, но и приобрели способность использовать пинены с выгодой для вида. Самка короеда находит ослабленное подходящее для питания дерево и превращает попадающие с пищей монотерпены в мирцен, являющийся половым аттрактантом для самцов,

которые слетаются к пораженному дереву и жуки начинают размножаться на нем (Семенов, 2000). Среди водных растений α -пинен активно синтезируется гигрофитом — чередой трёхраздельной (Tomczykowa et al., 2011).

Монотерпены, из-за хорошей летучести в сочетании со структурным многообразием, также являются средствами внутривидового и межвидового общения и передачи информации (Племенков, 2007).

У некоторых монотерпенов обнаружена фармакологическая активность. Так, например, моноциклический монотерпен d-лимонен используется в химиотерапии опухолей (Баширова, 2003). Среди высших водных растений лимонен (53.12 % от цельного эфирного масла) был выявлен в составе ЛНОС *Limnophila aromatica* (Lamk.) Merr. (Tucker et al., 2002). α - и γ -терпинены, α -терпинолен, сабинен обладают антиоксидантной активностью (Ruberto, Varatta, 2000; Самусенко, 2010). В работе Lorenzetti В. В. с соавторами (1991) сообщается, что мирцен обладает обезболивающим эффектом (Lorenzetti et al., 1991).

Обширную группу среди терпенов как по количеству соединений, обнаруженных в природных источниках, так и по разнообразию структурных вариантов представляют собой сесквитерпены. Они были обнаружены в наземных растениях, в морских организмах и микроорганизмах. В наибольшем количестве и разнообразии сесквитерпены присутствуют в растениях семейств Magnoliaceae, Rutaceae, Cornaceae и Asteraceae (Племенков, 2007). Не только наземные растения, но и прибрежно-водные и водные макрофиты, например стрелолист трёхлистный, берула прямая, лотос в составе эфирных масел содержат сесквитерпены, например β -кариофиллен (Xiangwei et al., 2006; Lazarević et al., 2010; Li et al., 2009), лонгифолен (Xiangwei et al., 2006). Сесквитерпены β -бисаболен (9.3% от цельного эфирного масла) и β -элемен (2.6% от цельного эфирного масла) входят в состав эфирного масла череды трёхраздельной (Tomczykowa et al., 2011). β - и δ -элемены были выделены

Magalhaes A. F. с коллегами среди ЛНОС соцветий растений рода *Eleocharis* (Болотница) (Magalhaes et al., 2005).

Эти метаболиты проявляют широкий спектр биологических свойств (Племенков, 2007). Так, об антиоксидантной активности цингиберена, β -кариофиллена сообщает Самусенко А. Л. (2010), у хамазулена и гвайазулена имеются противовоспалительные и антибиотические свойства (Березовская и др., 1991). В работе J. Legault и A. Pichette (2007) сообщается о противораковой активности α -гумулена и изокариофиллена, и способности β – кариофиллена усиливать их действие (Legault, Pichette, 2007).

Большое количество сесквитерпеновых углеводов, спиртов и других производных содержится в эфирных маслах растений и выделениях насекомых, являясь средствами химической коммуникации (Племенков, 2007). Сесквитерпены обеспечивают взаимодействие как внутривидовое, так и межвидовое, между различными организмами. Так, например, фарнезен, метаболит и морских, и наземных организмов, у персиковой тли выполняет функцию феромона тревоги. Сесквитерпен (-) γ -кадинен присутствует в цветах орхидей рода *Ophrys*, цветы которых по форме и окраске напоминают самок пчел *Andrena*. Данная приспособительная черта привлекает самцов-опылителей. А углеводород (-) γ -кадинен имитирует запах половых аттрактантов этого рода пчел, что еще больше способствует привлечению насекомых (Семенов, 2000).

В борьбе за жизненное пространство растения часто используют вещества, подавляющие развитие произрастающих по соседству видов (аллелопатия). Практический интерес к аллелохимикалиям вызван тем, что они могут быть использованы в качестве гербицидов или служить модельными соединениями таковых. Группа соединений, синтезируемая растениями для защиты от уничтожения другими живыми существами (насекомыми, моллюсками, высшими животными) - это фитотоксины, репелленты, антифиданты. Фитотоксины делают растение несъедобным для травоядных животных из-за опасности отравления, репелленты выполняют отпугивающую функцию (обычно

это хорошо летучие соединения), а антифиданты растения-хозяина, вызывают неприятные ощущения при попытке попробовать их съесть и таким образом препятствуют поеданию растений. Некоторые сесквитерпены действуют отталкивающим образом на травоядных только при определенных концентрациях, осуществляя тем самым сезонную защиту (Племенков, 2007). Важную роль в защите растений от патогенных грибов играют сесквитерпены с фунгицидной активностью - α -копаен, гермакрен-D и другие (Cheng et al., 2005).

Сесквитерпены с инсектицидной активностью - β -селинен, Δ -кадинен действуют на липиды мембран, вызывая расстройство пищеварительной функции насекомых (Рощина, Рощина, 1989). В статье Chalchat J.-C. с соавторами сообщается о наличии α -селинена в составе ЛНОС гигрофита - череды поникшей (Chalchat et al., 2009), а Magalhaes A. F. с коллегами из соцветий растений рода *Eleocharis* был выделен α -копаен (Magalhaes et al., 2005). В составе эфирных масел некоторых водных растений обнаружен сесквитерпен лонгифолен (Xiangwei et al., 2006). О способности лонгифолена ингибировать рост и развитие диатомовой водоросли *Skeletonema costatum* сообщается в работе Tsuruta K. с соавторами (Tsuruta et al., 2011).

Столь же значительно, как и сесквитерпены, по количеству структурных типов и количеству представителей каждого типа в природных источниках представлены дитерпены. Важной группой биологически активных соединений первого уровня являются гиббереллины – кислородсодержащие дитерпеноиды, выполняющие функции фитогормонов. В растениях они синтезируются, главным образом, в интенсивно растущих органах - формирующихся семенах, стеблевых почках. Наиболее характерный физиологический эффект гиббереллинов - ускорение роста растений.

Участие дитерпенов в защите растений от поедающих их животных в основном ограничивается продуцированием растениями фитотоксинов и антифидантов (Племенков, 2007). Так, например, сандаракопимарадиен входит в

систему терпеноидной защиты хвойных против растительноядных насекомых и патогенных грибов (Huber, Bohlmann, 2006). Некоторые дитерпены выполняют функцию фитоалексинов при грибковых (например каурен, касбен (Рощина, Рощина, 1989)) и бактериальных инфекциях, при травматизме растения.

Бенефисные свойства в ряду дитерпенов выражены очень ярко - многие представители этой группы изопренов обнаружили эффективную фармакологическую активность (Племенков, 2007). Спектр их действия широк- среди них найдены вещества с антимикробными свойствами (клеродан, цембрен (Graikou et al., 2012)), противовирусной и противовоспалительной активностью, антималярийные соединения, антиоксиданты, стимуляторы роста нервных тканей (Племенков, 2007).

Тритерпеновые соединения широко распространены в природе. Предшественником их является алифатическое терпеноидное соединение – сквален, масс-спектр и структурная формула которого показаны на рис. 5 (Баширова, 2003). Сквален известен как природный антиоксидант (Ко et al, 2002).

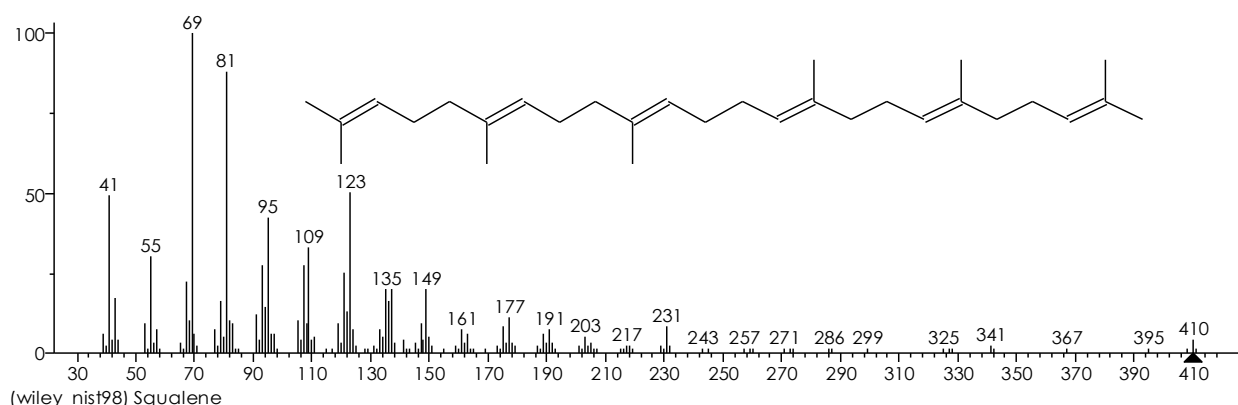


Рис. 5. Масс-спектр и структурная формула сквалена.

Сквален является предшественником фитостероинов, которые входят в состав клеточных мембран и стабилизируют их. С тритерпеноидами биогенетически связаны экдистероиды (рис. 6), близкие к стероидным

гормонам насекомых и ракообразных, стимулирующие линьку (Баширова, 2003).

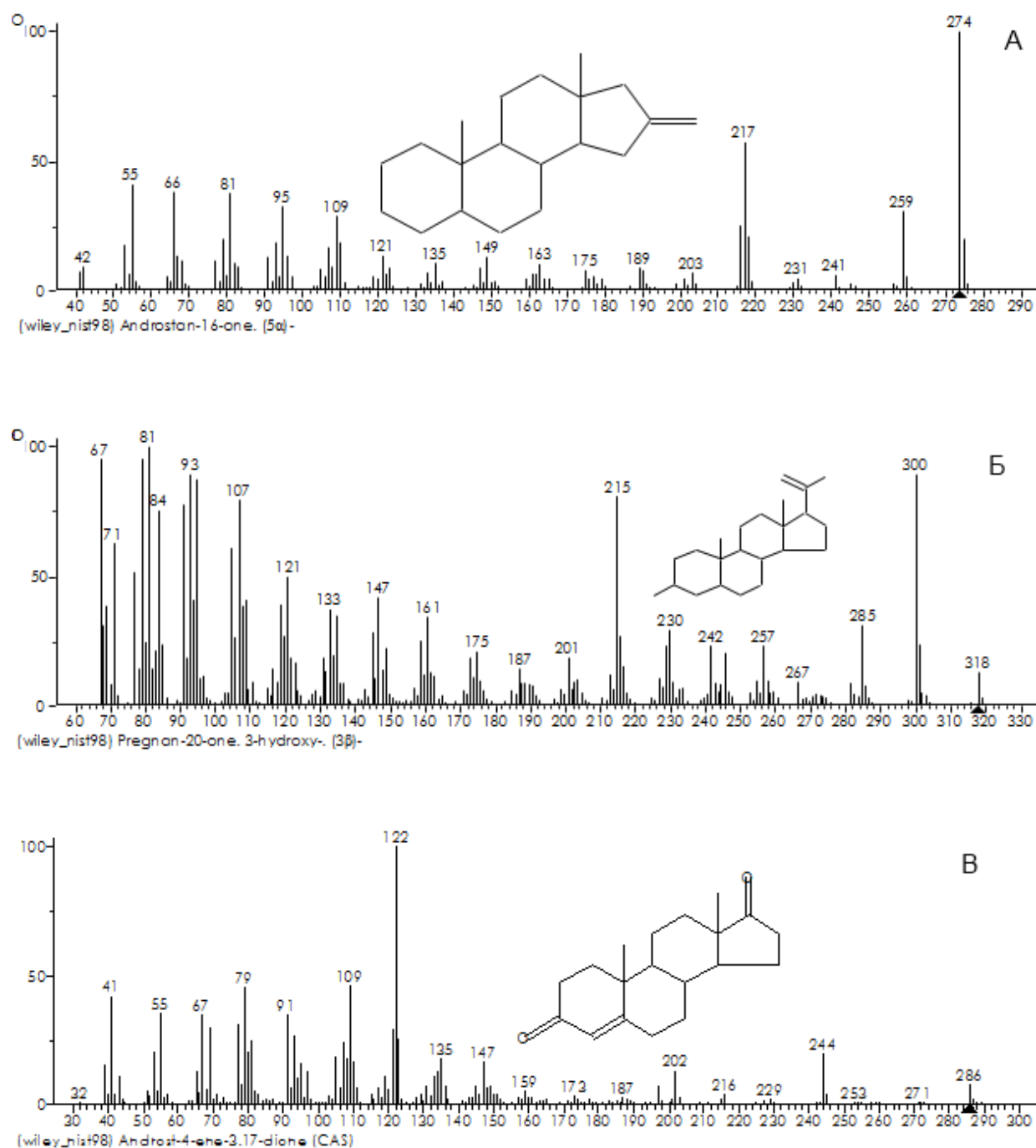


Рис. 6. Масс-спектры и структурные формулы некоторых экистероидов: а) 5 α -андростан-16-он; б) 1-(3-гидрокси-10,13-диметил-2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,14,15,16,17 - тетрадекагидро-1Н-циклопента[а]фенантрен-17-ил)этанон; [прегнанолон]; в) 10,13-диметил-2,6,7,8,9,11,12,14,15,16-декагидро-1Н-циклопента[а]фенантрен-3,17-дион; [андростендион].

Избыточное поступление фитостероидов в организм ракообразных и личинок насекомых нарушает нормальное чередование стадий развития и приводит к гибели. Поэтому выработка гормонов линьки растениями может рассматриваться как защитное приспособление против консументов (Семенов, 2000).

По данным Затыльниковой О. А. с соавторами сквален, в больших количествах, содержится в корневищах и листьях ириса болотного (Затыльникова и др., 2013).

Тритерпеноиды выполняют защитные функции у многих организмов по разным механизмам - это и антифидантная защита у растений; фитоалексиновая защита от инфекций (грибковых в основном); и внутривидовая и межвидовая борьба за жизненное пространство.

Таким образом, природные терпены растений выполняют разнообразные функции: защита от патогенов и травоядных; привлечение опылителей; являются аллелопатическими агентами. Они обладают и фармакологическими свойствами: антисептики против широкого спектра бактерий и грибов (масло эвкалипта, тимьяна, коричное, гвоздичное); спазмолитики и седативные (масло мяты); а также проявляют противовоспалительные и ранозаживляющие эффекты (Племенков, 2007).

Обширной группой растительных экскретов являются альдегиды (Рощина, Рощина, 1989), синтез которых активно осуществляют не только наземные, но и высшие водные растения (Magalhaes et al., 2005; Qiming et al., 2006а, б; Xiangwei et al., 2006). Причем, альдегиды были выявлены в составе ЛНОС не только пресноводных высших растений, но и среди морских трав, например у взморника (*Zostera marina* L.) (Kawasaki et al., 1998). Согласно информации, данной в монографии Семенова А. А. «Очерк химии природных соединений», одной из функций летучих низкомолекулярных органических веществ, и альдегидов в том числе, у растений является привлечение своим запахом насекомых-опылителей к цветам и распространителей семян - к плодам.

Альдегиды могут выполнять функцию полового аттрактанта, примером может служить простой альдегид ундеканаль. Альдегиды используются парфюмерной промышленностью и в медицине. Цитраль (рис. 7), одним из источников получения которого служат плоды цитрусовых, находит медицинское применение в качестве болеутоляющего и противовоспалительного средства в глазной практике (Семенов, 2000).

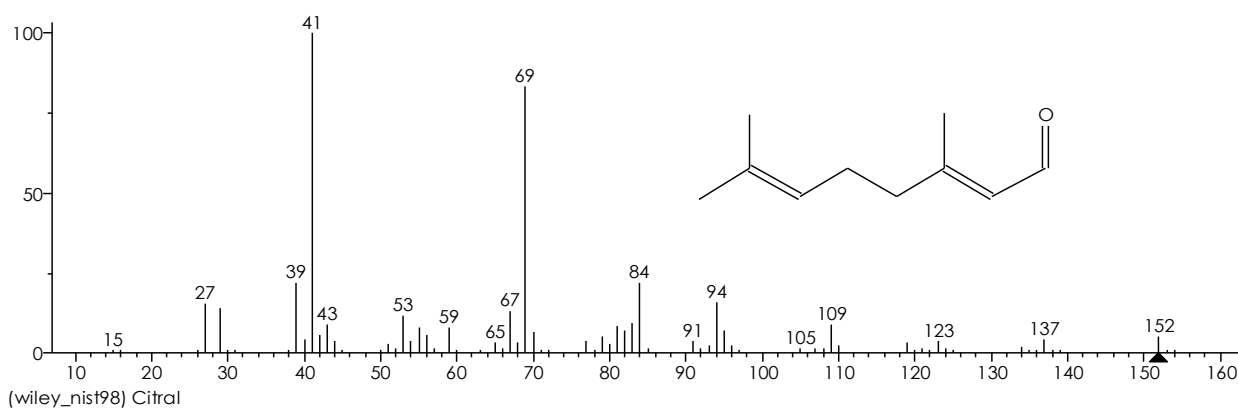


Рис. 7. Масс-спектр и структурная формула цитраля.

Альдегиды могут исполнять роли репеллентов и защитных веществ против потенциальных хищников. Так, например, цитраль препятствует откладке яиц вредителем хлопка и баклажанов цикадкой *Amrassa devastance* (Семенов, 2000).

Они обладают ингибирующим действием на ряд физиологических процессов растений и микроорганизмов. Ацетальдегид, например, необратимо ингибирует клеточное деление *E. coli*, тормозит или останавливает прорастание семян и рост проростков различных растений. Токсическое действие альдегидов связано с их способностью реагировать с аминными и сульфгидрильными группами белков, вызывая их конформационные изменения (Рощина, Рощина, 1989). В ряде работ (Kim et al., 1995; Dorman, Deans, 2000) показана антибактериальная активность цитраля и цитранеллала против некоторых сапрофитных, патогенных и условно-патогенных бактерий (Kim et

al., 1995; Dorman, Deans, 2000). По данным J. Thongdon-A. и P. Inprakhon эфирные масла *Limnophila geoffrayi* Bonati обладают высокой антимикробной и инсектицидной активностью за счёт содержания перилальдегида (Thongdon-A., Inprakhon, 2009).

При стрессовых условиях выделение альдегидов часто повышается (Рощина, Рощина, 1989). Многие альдегиды, входящие в состав эфирных масел, обладают фунгицидными свойствами (Voda et al., 2003). Так, например, растения при повреждении листьев или поражении грибной инфекцией образуют гексаналь (Рощина, Рощина, 1989). Tomczykowa M. с соавторами выявили гексаналь в составе эфирных масел череды трёхраздельной (Tomczykowa et al., 2011).

Важной группой биологически активных соединений эфирных масел растений являются кетоны. К кетонам, например, относятся важные в практическом отношении вещества α - и β -иононы, которые широко используются в парфюмерной промышленности и как полупродукты в промышленном синтезе витамина А. Иононы и их производные присутствуют в эфирных маслах, серой амбре (ценное пахучее вещество из кашалотов). Наличием β -ионона определяется в основном нежный запах фиалок (Семенов, 2000). Среди водных растений α - и β -иононы были обнаружены у валлиснерии спиральной (Qiming et al., 2006б).

Широко известными кетонами являются камфора и туйон. Камфора входит в состав некоторых сердечных и обезболивающих препаратов. Применяется и самостоятельно при острой и хронической сердечной недостаточности, гипотонии, как стимулятор дыхания. Кетон туйон обладает сильным возбуждающим действием на центральную нервную систему.

Многие кетоны являются детеррентами или антифидантами, защищая растение от потенциальных вредителей. Примером вещества - фитотоксина является 2-тридеканон, содержащийся в листьях томата, который токсичен для насекомых и защищает растение от повреждения листовёртками, табачным

бражником и тлями. Листья другого растения - *Tagetes minuta* L. используются в Африке для отпугивания mosкитов. В них содержится кетон оцименон. Москиты не выносят его запаха, а их личинки погибают в атмосфере, содержащей данное вещество в концентрации всего лишь 0.04 мг/л (Семенов, 2000).

В работе N. G. Porter и A. L. Wilkins (1998) дана информация об антимикробной активности трикетонов (Porter, Wilkins, 1998).

В составе ЛНОС обнаружены спирты, которые содержатся в составе эфирных масел как наземных, так и водных растений. Среди высших водных растений α - и β - эудесмолы содержатся в корневищах и листьях ириса болотного (Затыльников и др., 2013). Наиболее известными из данной группы веществ являются ментол, манол, бисабол, дитерпеновый спирт фитол и некоторые другие соединения. Ментол, содержащийся в значительных количествах в эфирном масле мяты перечной (*Mentha piperita* L.) и других видах этого рода, обладает антисептической активностью и применяется в фармацевтической промышленности, а также используется для ароматизации пищевых продуктов, входит в состав парфюмерных композиций (Племенков, 2001). Манол, обладающий противовирусной активностью (Овчинников, 1987), интересен как ценный ресурс для отраслей медицины и парфюмерии (Dimas et al., 1998; Sell, 2003). Природный манол содержится во многих растениях, особенно в хвойных. Коммерческая добыча природного манола осуществляется из древесины желтой сосны *Halocarpus biformis* (Hook.) C.J.Quinn (старое название *Dacrydium biforme* (Hook.) Pilger), содержащей значительное количество этого вещества (Hosking, Brandt, 1935; McDonald, 1964; Merz, Ritchie, 1970; Douglas, 1993). Дитерпеновый спирт фитол, входящий в состав хлорофилла, выполняет защитную/отпугивающую роль против водных насекомых и растительноядных личинок (Venci, Morton, 1998). Спирт бисабол, содержащийся в ромашке аптечной определяет основные медицинские свойства растения: противовоспалительные, противоязвенные и

противомикробные (Семенов, 2000). В статье Carson C. F. и Riley T. V. (1995) сообщается об антибактериальной активности терпинен-4-ола, α -терпинеола и линалоола. Данные компоненты эфирных масел действуют и на дрожжи рода *Candida* (Carson, Riley, 1995).

Летучие спирты, часто содержащие и другие функциональные группы, входят в состав композиций, определяющих запах природных продуктов. Так, например, гепт-4-ен-2-ол главенствует в аромате бананов, 3-(метилтио)гексанол – характерный компонент запаха тропических плодов гранадиллы, а запах свежей зелени обусловлен гексен-3-олом (Семенов, 2000).

Важной группой биологически активных соединений эфирных масел растений являются простые и сложные эфиры, которые входят в состав ЛНОС как наземных так и прибрежно-водных, а также водных макрофитов. Так, например, Jeon S. с соавторами выявили в составе эфирных масел цветков лотоса сложные эфиры - метилгексадеcanoат, метил (Z)-гексадец-9-еноат и некоторые другие. В этой же статье сообщается о медицинском значении данных веществ (Jeon et al., 2009). Эфирные масла аира обыкновенного (*Acorus calamus L.*), в больших концентрациях содержащие α - и β -азароны (Raina et al., 2003), обладают способностью угнетать рост некоторых водорослей (Pollio et al., 1993). В составе эфирных масел гигрофита — череды трёхраздельной Tomczykowa M. с соавторами выявили 2-пентилфуран (Tomczykowa et al., 2011), он был обнаружен и в исследованных нами растениях. Большое количество эфиров содержится в составе ЛНОС высшего водного растения эхинодоруса крупнолистного (Silva et al., 2013).

Циклические сложные эфиры – лактоны часто присутствуют в эфирных маслах. Например дигидроактинидиолид обнаружен в некоторых водных растениях (Qiming et al., 2006а, б). В статье Michael F. Neerman (2003) сообщается о возможном использовании лактонов в медицине (Neerman, 2003). Большинство лактонов, содержащих двойную связь, активированную карбонильной группой, проявляет антибактериальную, фунгицидную и

цитотоксическую (противораковую) активности. Это объясняется тем, что активированная олефиновая связь способна легко присоединять нуклеофильные вещества по реакции Михаэля. Реакционноспособные нуклеофильные группы широко представлены в любой живой клетке. В частности, активные центры многих ферментов содержат сульфгидрильные остатки, которые участвуют в механизме их каталитического действия. Непредельные лактоны реагируют с сульфгидрильными группами, и, тем самым, вызывают дезактивацию ферментов. Это и служит одной из главных причин их биологической активности (Белянин, 2010).

Простые эфиры также обладают биологической активностью, так, например, 1,8-цинеол входит в состав эвкалиптового масла как его основной компонент и ответственен за бактерицидное действие этого лекарственного средства. Цинеол содержится и в листьях лавра и выполняет защитную функцию. Он обладает свойством отпугивать насекомых, подавляет прорастание семян и рост однолетних растений (Семенов, 2000). β – кариофиллен оксид проявляет ингибирующий эффект на рост сельскохозяйственных патогенных грибов (Cakir et al., 2004).

В эфирном масле растений могут содержаться и органические кислоты. В работе Henry G. E. с соавторами (2002) сообщается об антиоксидантной активности некоторых жирных кислот (Henry et al., 2002). Широкий спектр биологических свойств проявляет кауреновая кислота. Информация по этому вопросу обобщена в работе Ambrosio S. R. с соавторами. В данной статье сообщается, что кауреновая кислота обладает антимикробной и протистоцидной активностью. Лабораторные исследования кауреновой кислоты показали наличие у неё противовоспалительных, спазмолитических и противораковых свойств (Ambrosio et al., 2006).

Не менее важной группой биологически активных веществ эфирных масел растений являются фенольные соединения. Они были найдены во всех подвергавшихся исследованию органах и тканях наземных растений – листьях,

корнях, стеблях, цветках, мякоти и оболочке плодов, ягодах и семенах (Запрометов, 1993). Однако, не только наземные, но и высшие водные растения активно синтезируют фенольные соединения (Qiming et al., 2006б). Число идентифицированных к настоящему времени фенольных соединений составляет около десяти тысяч. Многообразие структур фенольных соединений, их способность к изомеризации и взаимопревращениям служат основными причинами их полифункционализма, важной роли в жизни растений. Важнейшими функциями фенольных соединений у растений являются биохимические (способны к окислению с образованием высокореактивных продуктов (радикалов и хинонов), взаимодействию с белками, углеводами, ионами металлов), благодаря данному свойству многие фенольные соединения могут рассматриваться как эффективные антиоксиданты, участвующие в различных окислительно-восстановительных реакциях у растений; физиологические; структурные; запасующие; защитные; регуляторные (ингибирование и стимулирование ростовых процессов, регуляция цветения, осуществление двигательных функций); экологические и сигнальные (некоторые фенольные соединения играют роль сигнальных веществ во взаимоотношениях растений друг с другом, а также с микроорганизмами, насекомыми и животными). Так, например, фенилкарбоновые кислоты и флоридзин участвуют в механизмах первичного узнавания растения и патогена. При этом фенольные соединения могут служить как аттрактантами, так и репеллентами.

Именно фенольные соединения принимают активное участие в активации защитных реакций растений при патогенезе. Устойчивость растений к поражению теми или иными патогенами часто коррелирует с высоким содержанием в их тканях веществ фенольной природы. Важным является тот факт, что все патогены в качестве ответной реакции со стороны растения вызывают увеличение образования разнообразных фенольных соединений. Растение синтезирует характерное для его метаболизма фенольное соединение

(или несколько характерных соединений), причем это фенольное соединение обладает фунгицидной, бактерицидной или противовирусной активностью. Так, например, сорта лука с окрашенной шелухой устойчивы к патогенным грибам родов *Colletotrichum* и *Diplodia*. Это сорта синтезируют значительные количества протокатеховой кислоты, которая подавляет развитие обоих патогенов. В листьях и зеленой оболочке плодов грецкого ореха и черного ореха аналогичные функции выполняют нафтохинон юглон и его предшественник гидроюглон (Упадышев, 2008).

В работе Voda K. с соавторами (2003) также сообщается о фунгицидной активности фенольных соединений. Причем положение функциональной группы у фенольных соединений влияет на их фунгицидную активность (Voda et al., 2003).

Инфекция вызывает изменение путей метаболизма, что проявляется в увеличении интенсивности дыхания, синтеза белка и накопления фенольных соединений. Фенольные соединения - токсичные вещества, способные ингибировать развитие различных патогенов. Действие фенолов осуществляется путем ингибирования ферментов паразитов и разобщения процессов окисления и фосфорилирования, что приводит к нарушению энергетического аппарата как возбудителя, так и растения-хозяина (Voda et al., 2003; Упадышев, 2008). Продукты окисления фенолов могут одновременно локализовать очаг инфекции, защитить его от вторичного заражения и предупредить проникновение в прилегающие здоровые ткани токсичных веществ. Фенолы можно рассматривать в качестве субстратов для ферментов, превращающих их в другие соединения, более тесно связанные с заболеванием. Бактериальная флора считается менее устойчивой к фенолам по сравнению с грибной.

Кроме химических барьеров некоторые фенольные соединения способны и к образованию механических, что достигается путем увеличения синтеза

суберина и лигнина – веществ, обладающих повышенной устойчивостью к действию патогенов.

Согласно литературным данным, среди известных к настоящему времени фитоалексинов на долю фенольных соединений приходится свыше 80% (Упадышев, 2008). Фитоалексины – индуцибельные защитные соединения вторичного метаболизма представлены практически всеми классами веществ вторичного обмена растений. Их синтез в клетке осуществляется через активацию генов, определяющих синтез ферментов необходимых для синтеза фитоалексинов. Это процесс запускается элиситорами, которые могут быть фрагментами патогена (первичные элиситоры) или погибшими клетками самого растения (вторичные элиситоры) (Носов, 1994).

В здоровых тканях фитоалексины отсутствуют. Хотя существует мнение, что они могут содержаться в следовых количествах и в здоровой ткани. Но это трудно доказать, так как очень сложно определить находится ли растение в состоянии стресса или совершенно здорово (Рощина, Рощина, 1989).

Фенольные соединения проявляют и антиоксидантную активность (Ruberto, Varatta, 2000).

Таким образом, как цельные эфирные масла растений, так и их компоненты являются биологически активными и выполняют разноплановые функции в организме растений и в экосистемах в целом. Однако, наиболее исследованы качественный состав и количественное содержание ЛНОС наземных растений, в то время как состав эфирных масел большинства водных макрофитов остается неисследованным. Имеющаяся литературная информация по качественному составу и количественному содержанию ЛНОС высших водных растений показывает, что большинство исследований посвящено изучению вторичных метаболитов гигрофитов, менее изученными являются погруженные макрофиты и растения с плавающими листьями. Очень мало информации и о функциях, которые ЛНОС выполняют в водных экосистемах.

1.3 Антибактериальная активность эфирных масел.

Эфирные масла растений проявляют различную активность в отношении микрофлоры (Дроботько и др. 1958; Тульчинская и др. 1964; Зарубина и др., 1993; Казаринова и др., 1999; Тропникова и др., 1999; Cowan, 1999; Dorman, Deans, 2000; Казаринова и др., 2002; Koutsoudaki et al., 2005; Burt, 2007 и др.). Однако, литературные данные относительно того, что определяет антибактериальную активность, отдельные компоненты эфирных масел или их сочетание, противоречивы. Дроботько В. Г. (1958), Тульчинская В. П. с соавторами (1964), Koutsoudaki С. с соавторами (2005) показали, что антибактериальная активность эфирных масел определяется комплексом веществ, входящих в их состав и совместно действующих на микробную клетку. Отдельные компоненты эфирных масел действуют на микроорганизмы значительно слабее (Дроботько и др., 1958; Тульчинская и др., 1964; Koutsoudaki et al., 2005). Ряд авторов (Сур, 1993; Гуринович, Пучкова, 2005) считает, что биологическая активность масла обычно определяется ведущими макрокомпонентами и их соотношением. Комплексные исследования Николаевского В. В. с соавторами (1987) антимикробной активности 46 эфирных масел и их фракций, показали, что, по-видимому, наличие в эфирном масле фенольных соединений во многом обуславливает его бактерицидный эффект, но антибактериальная активность эфирных масел зависит не только от суммы фенольных соединений, но и от количественного соотношения других фракций (Николаевский и др., 1987). Такой же вывод был сделан в работе Cosentino S. с коллегами (Cosentino et al., 1999). Установлено, что антибактериальный эффект обусловлен главным образом присутствием в маслах кислородсодержащих соединений (Дроботько и др., 1958; Березовская и др., 1991; Dorman, Deans, 2000), причем, наиболее сильно антимикробное действие выражено у альдегидов, слабее у спиртов и еще слабее у углеводов. Группу соединений с очень высокой активностью составляют вещества фенольной природы (Дроботько и др., 1958; Cosentino et al., 1999).

Важно отметить, что микроорганизмы при длительном контакте с эфирными маслами практически не вырабатывают к ним устойчивости (Николаевский, 2000).

В настоящее время, наиболее высокими темпами идет развитие исследований антибактериальной активности наземных растений, прежде всего имеющих пищевое и фармакологическое значение (Николаевский, 2000; Dorman, Deans, 2000; Neerman, 2003; Carson et al., 2006; Burt, 2007; Кашина, 2009; Лекарственные..., 2009 и др.).

В литературных источниках имеется информация о бактерицидной активности некоторых органических веществ, выделенных из водных растений (Вичканова, 1981; Walenciak et al., 2002; Gross, 2003; Баланда и др., 2004 и др.), но данных об антимикробной активности летучих низкомолекулярных органических соединений высших водных растений крайне мало (Liu et al., 2006; Xiangwei et al., 2006; Sittiwet, 2009).

Первые исследования ингибирующих свойств, в частности антибактериальной активности, водных и прибрежно-водных растений были начаты Ф. А. Гуревичем в 40-х годах XX века (Гуревич, 1978). Для ряда водных и прибрежных растений отмечено бактерицидное действие их фитонцидов на сарцины, стрептококк, кишечную палочку, особенно в весенне-летний период. Механизм бактерицидного действия осуществляется через уменьшение поглощения кислорода, блокирование переноса электронов в дыхательной цепи. Исследованиями бактерицидного действия высших водных растений одновременно занимались некоторые биологи. Фитонциды аира болотного уничтожают ряд бактерий и простейших (Кокин, 1982). К настоящему времени хорошо изучена антибактериальная активность кубышки желтой, которая связана в основном с содержанием в ней алкалоидов и сумма солей двух из них под названием "лютенурин" является лекарственным средством, которое разрешено для медицинского применения в качестве местного антимикробного средства (Лекарственные..., 2009). Фитонцидное действие манника обусловлено

действием синильной кислоты (Гуревич, 1978), урути колосистой - наличием в ней полифенолов (Walenciak et al., 2002). Шафранов П. А. считает, что водяной орех или чилим может быть с успехом использован для биологического очищения канализационных вод (Гуревич, 1978). Лабораторные эксперименты показали, что между высшими водными растениями (исследовались рогоз узколистный, камыш озерный и элодея канадская) и микроорганизмами наблюдается антагонизм, особенно в опытах с растениями и с культурами *Salmonella cholerae suis* (современное название – *Salmonella enterica*) и *Staphylococcus aureus*. Уже на десятые сутки бактерии не обнаруживались, в то время как без растений (в контроле) число их оставалось почти неизменным (Морозов, Телитченко, 1984).

Таким образом, эфирные масла растений, как наземных, так и водных, обладают широким спектром антибактериальной активности.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Общая характеристика объектов исследования.

Изучен компонентный состав и антибактериальная активность рдеста туполистного (*Potamogeton obtusifolius* Mert. et Koch) и роголистника тёмно-зелёного (*Ceratophyllum demersum* L.) произрастающих на территории России (Санкт-Петербург, пруды Парка Победы).

Роголистник тёмно-зелёный (погружённый) (*Ceratophyllum demersum* L.) относится к семейству Ceratophyllaceae. Представители данного семейства встречаются в пресных водоемах всего земного шара. Наибольшее распространение имеет *C. demersum* L. – растение – космополит (Шамров, 1981). Роголистник тёмно-зелёный - многолетнее водное растение без корней, закрепляющееся в грунте с помощью нижних мутовок листьев (Белавская, 1994). Для *C. demersum* характерны раздельнополые цветки, членистые стебли (30-150 см длиной) (Шамров, 1981) и листья по 4-12 в мутовках, тёмно-зелёные, 1.5 – 2.0 см длиной, вильчато-одно-двураздельные, состоящие из 2 – 4 нитевидных линейных долей, 0.1 – 0.5 мм шириной (Макрофиты..., 1993). Устьица отсутствуют. Ксилема редуцирована (Шамров, 1981).

Возобновляется в основном вегетативно, цветение наблюдается редко, при достижении температуры воды 25 - 27° С. В условиях слабого освещения не цветет (Макрофиты..., 1993). Все репродуктивные процессы идут под водой. Цветение и оплодотворение – на глубине 25-30 см. Пыльники отрываются от тычинок, всплывают и плавают от 6 до 24 часов, после чего вскрываются. С поверхности воды пыльца медленно опускается под воду на рыльца женских цветков (Белавская, 1994).

Роголистник тёмно-зелёный встречается от пресных до слабосолоноватоводных водоемов, является индикатором эвтрофных участков водных экосистем с мощными органоминеральными донными отложениями и сильнощелочной реакцией среды (Макрофиты..., 1993).

Рдест туполистный (*Potamogeton obtusifolius* Mert. et Koch) — растение со сплюснутым, сильно ветвистым стеблем 30-100 (130) см длиной. Корневище плагиотропное, тонкое, ветвистое. (Макрофиты..., 1993). Листья линейные, 2-8 см длиной, 2-4 мм шириной, сидячие, тупые, с едва развитым остроконечием, с 3 (5) жилками. Цветёт в июне-июле, плодоносит в июле-сентябре. Размножается и распространяется семенами и вегетативно. Растет в стоячих и слабо проточных водоёмах (Иллюстрированный..., 2002).

Исследовали популяции роголистника тёмно-зелёного и рдеста туполистного из прудов Парка Победы. Растения произрастали в прудах Парка Победы. Парк Победы расположен в Московском районе Санкт-Петербурга. Общая площадь парка - 68 га. Пейзажный пруд располагается в северной части парка, а Квадратный и Фонтанный - в южной. При описании водоёмов гидрохимические и гидробиологические показатели за 2009 г. взяты из отчёта о научно-исследовательской работе «Экологическое обследование водных объектов Санкт-Петербурга до и после проведения очистных мероприятий» (2010). Согласно литературным данным, по содержанию общего фосфора Пейзажный пруд классифицирован как гиперэвтрофный (среднее содержание $P_{\text{общ.}} - 0.789 \text{ мг P л}^{-1}$). Для пруда характерно нарушение кислородного режима относительно содержание растворенного кислорода в поверхностном слое летом составило 61%, придонный слой воды — анаэробный. В водной массе основную долю фосфора составляли фосфаты, а в качестве доминирующей неорганической формы азота выступил ион аммония (Экологическое..., 2010). В поверхностном слое донных отложений были выявлены металлы: свинец — 150 мг/кг, медь — 130 мг/кг, никель — 57 мг/кг (по данным Игнатъевой Н. В.).

Биомасса водорослей в Пейзажном пруду весной составляла 0.32 мг/л, концентрация хлорофилла «а» была – 22.26 мкг/л. Доминировали эвгленовые (50%) и криптофитовые (38%) водоросли. В июле биомасса достигала 19.99 мг/л, хлорофилла «а» – 102.43 мкг/л. Наблюдалось цветение цианобактерии

Aphanizomenon flos-aquae (90% общей биомассы водорослей). Субдоминантами являлись зеленые водоросли и криптомонады (3-4%).

Заращение Пейзажного пруда в 2009 г. водными растениями составляло 45% от площади акватории. Флора пруда представлена 4 видами макрофитов, среди которых доминирует погруженная растительность представленная рдестом туполистным, образующим сплошную прибрежную полосу шириной до 2.5 м. (Экологическое..., 2010). В 2010-2012 гг. в Московском Парке Победы проводились ремонтно-реставрационных работы: берегоукрепление, очистка прудов. Соответственно изменились гидрохимические и гидробиологические показатели водоёмов. Так, по данным Игнатъевой Н. В. в Пейзажном пруду в 2014 г. среднее содержание $P_{\text{общ}}$ составляло $0.050 \text{ мг P л}^{-1}$. Уменьшилось и содержание металлов в поверхностном слое донных отложений: свинец — 50.5 мг/кг, медь — 61.5 мг/кг, никель — 21.9 мг/кг. Изменилась и площадь произрастания макрофитов. Если в 2009 г. рдест туполистный образовывал сплошную прибрежную полосу шириной до 2.5 м., то в 2014 — крупные куртины.

Квадратный пруд в 2009 г. по содержанию общего фосфора классифицирован как гиперэвтрофный (среднее содержание $P_{\text{общ}}$ — $0.787 \text{ мг P л}^{-1}$). Для него, так же как и для Пейзажного, было характерно нарушение кислородного режима, однако, полного отсутствия кислорода не наблюдалось. Доминирующей формой фосфора были фосфаты. Основной формой неорганического азота была аммонийная.

В апреле биомасса фитопланктона в Квадратном пруду была 1.15 мг/л , а концентрация хлорофилла «а» - 18.0 мкг/л . Здесь же регистрировалось наибольшее видовое разнообразие водорослей (12 таксонов). Доминировали динофитовые (60%). В небольших количествах встречались хроококковые синезеленые — *Aphanocapsa holsatica*, виды *Microcystis* и др. В середине лета (июль) биомасса, напротив, была минимальной — 0.13 мг/л , что обуславливалось массовым многокоренника, полностью закрывшим

поверхность пруда. Концентрация хлорофилла «а» не превышала 5.24 мкг/л. Основное значение имели криптомонады (53%), способные к миксотрофному питанию, эвгленовые и цианобактерии.

Водная растительность занимала 98% площади дна Квадратного пруда. Во флоре прудов отмечено 5 видов макрофитов. Основным доминантом является многокоренник, который плотным ковром покрывает поверхность воды в водоеме. Второе место по значимости занимает представитель гидрофитов - роголистник погруженный, заросли которого покрывают 27% площади дна.

Фонтанный пруд. По содержанию общего фосфора классифицирован как гиперэвтрофный (среднее содержание $P_{\text{общ.}} - 0.423 \text{ мг P л}^{-1}$). В пруду отмечено нарушение кислородного режима, а летом в придонном слое наблюдалось полное потребление кислорода, при этом содержание кислорода в поверхностном слое воды было близко к насыщению.

В июле биомасса водорослей в Фонтанном пруду не превышала 1.11 мг/л, хлорофилл «а» был 3.43 мкг/л. Основное значение имели цианобактерии (64%). Субдоминантами были криптомонады (19%) и динофитовые водоросли.

По степени зарастания Фонтанный пруд относится к сильно заросшим водоемам – водная растительность занимает 63% его площади. Во флоре пруда отмечено 10 видов макрофитов. Среди ВР преобладают погружённые макрофиты – заросли роголистника тёмно-зелёного с примесью элодеи составляют 53% общей площади зарастания водоема (Экологическое..., 2010).

2.2. Выделение эфирных масел.

Сбор исследуемых растений (только побеги) производился в июне-сентябре 2009, 2010 годов (периодичность сбора растений - два раза в месяц) и в конце августа 2014 г. Сырье сушили в затемненном помещении без доступа прямых солнечных лучей до воздушно-сухого состояния. Нами было получено 9 образцов эфирных масел рдеста туполистного, 14 - роголистника тёмно-зелёного и произведена идентификация ЛНОС, входящих в их состав.

Эфирные масла из высушенных растений получали методом гидродистилляции с использованием аппарата Клевенджера (ГОСТ 24027.2—80, 1980). Перед перегонкой высушенный растительный материал измельчали до порошкообразного состояния в блендере Waring BB-25ES (Waring (США)).

Навеску измельченного растительного сырья (15.5-60 гр) помещали в круглодонную колбу вместимостью 1 литр, заливали 300-350 мл дистиллированной воды, колбу соединяли через шлиф с паропроводящей трубкой и заполняли водой градуированную трубку. Содержимое колбы нагревали до кипения и отгоняли дистиллят в течении 6 часов с момента появления первых капель при температуре колбонагревателя 210°C , скорость стекания дистиллята составляла 55-60 капель в 1 мин.

Эфирные масла экстрагировали из конденсата гексаном (5 мл). Полученный раствор эфирных масел в гексане выдерживали не менее 12 часов в морозильной камере с целью обезвоживания. Экстракты до хромато-масс-спектрометрического анализа сохраняли в морозильной камере.

Для определения наличия ЛНОС в воде, 250 мл исследуемого образца воды экстрагировали гексаном (5 мл) в делительной воронке. После перемешивания и отстаивания из нижней части воронки сливали воду, а гексан с перешедшими в него из воды соединениями отбирали в качестве пробы. Пробы гексана выдерживали не менее 12 часов в морозильной камере для полного обезвоживания. Экстракты до хромато-масс-спектрометрического анализа сохраняли в морозильной камере. Нами было исследовано по 6 образцов воды из каждого пруда.

2.3. Методы исследования химического состава эфирных масел.

Состав ЛНОС макрофитов выявляли в гексановых экстрактах на хромато-масс-спектрометрическом комплексе TRACE DSQ II (Thermo Electron Corporation) с квадрупольным масс-анализатором. Использовали колонку Thermo TR-5ms SQC 15 м x 0.25 мм с фазой ID 0.25 мкм. Газ-носитель - гелий.

Масс-спектры регистрировали в режиме сканирования по полному диапазону масс (30-580 m/z) в программированном режиме температур (35° - 3 мин, 2°/мин до 60° - 3 мин, 2°/мин до 80° - 3 мин, 4°/мин до 120° - 3 мин, 5°/мин до 150° - 3 мин, 15°/мин до 240° - 10 мин) с последующей пошаговой обработкой хроматограмм. Идентификацию обнаруженных веществ проводили с использованием библиотек масс-спектров «NIST-2005» и «Wiley». Для более точной идентификации применяли индексы Ковача (I), полученные с использованием стандартов алканов C₇ – C₃₀. За стандарты берут два соседних алкана, один из которых удерживается слабее, а второй сильнее исследуемого соединения x , т. е. $t(z) < t(x) < t(z+1)$, где z – число атомов углерода в алкане, $t(x)$ – приведенное время удерживания определяемого компонента; $t(z)$ и $t(z+1)$ – приведенные времена удерживания n -алканов с числом атомов углерода z и $(z+1)$, элюирующихся до и после определяемого вещества.

Индекс Ковача рассчитывался по формуле:

$$I = 100 \left(\frac{\log(t(x)) - \log(t(z))}{\log(t(z+1)) - \log(t(z))} + z \right)$$

Количественный анализ выполняли с использованием внутренних стандартов: декафторбензофенона и бензофенона.

Для выявления сходства образцов эфирного масла по составу ЛНОС применялись коэффициент сходства Жаккара (Jaccard, 1901) и Сьёренсена-Чекановски (Sørensen, 1948). Коэффициент сходства Жаккара был рассчитан по следующей формуле:

$$J = \frac{c}{a+b-c}, \text{ где}$$

c – число общих веществ для образцов А и В

a – вещества, присутствующие в А

b – вещества, присутствующие в В (Jaccard, 1901).

Для расчета коэффициент сходства Сьёренсена-Чекановски применялась формула:

$$K_s = \frac{2c}{a+b}, \text{ где}$$

c – число общих веществ для образцов А и В

a – вещества, присутствующие в А

b – вещества, присутствующие в В (Sørensen, 1948).

2.4. Методы исследования антибактериальной активности эфирных масел.

Определение чувствительности микроорганизмов к ЛНОС осуществлялось диско - диффузионным методом, который основан на диффузии антибактериального вещества из носителя в плотную питательную среду и подавлении роста исследуемой культуры, посеянной на поверхности питательной среды, в той зоне, где концентрация антибактериального вещества превосходит минимальную подавляющую концентрацию (МПК) (МУК 4.2.1890-04, 2004).

В качестве тест-объектов использовали следующие микроорганизмы: грамотрицательные - *Escherichia coli* и *Pseudomonas aeruginosa*, грамположительные – *Bacillus subtilis* (Государственная..., 2008). Тест-микроорганизмы выращивали в течение 24 часов при температуре 37° С. Из 24-часовых культур микроорганизмов готовили суспензии с исходной концентрацией 10^9 клеток в 1 мл. Антимикробную активность изучали при микробной нагрузке 10^8 кл/мл. В качестве питательных сред использовали агар Мюллера-Хинтона (Oxoid LTD, Великобритания). Чашки Петри с агаризованными питательными средами засеивали «газоном» полученными суспензиями микроорганизмов. Для исследования антибактериальной активности раствор эфирного масла в гексане концентрировали в вакууме. Эфирные масла в количестве 5 мкл наносили на бумажные диски диаметром 6

мм (производитель – ФГУН НИИЭМ имени Пастера Роспотребнадзора), которые накладывали на поверхность среды. В качестве препарата сравнения использовали эфирное масло эвкалипта шаровидного, полученное из официального растительного сырья — листьев эвкалипта шаровидного (ООО «Реал»). Тест-микробы подвергались, таким образом, воздействию, как летучих фракций эфирного масла, так и диффундирующих в агар. Чашки инкубировали в течение 24 часов при температуре 37° С. После инкубирования определяли диаметр зон (мм) задержки роста тест-микробов вокруг дисков, пропитанных эфирными маслами. Эксперименты проведены в трёх-шести повторностях.

Результаты антибактериальной активности эфирных масел обрабатывали методами математической статистики с использованием программы STATISTICA 10.

Для обработки данных эксперимента была выбрана достоверная вероятность $p=0,95$ при уровне значимости $\alpha=0,05$.

ГЛАВА 3. КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ЭФИРНОГО МАСЛА РДЕСТА ТУПОЛИСТНОГО

Полный компонентный состав идентифицированных ЛНОС в составе эфирного масла рдеста туполистного 2009 г. сбора, приведён в таблице 1 только для четырёх сроков (в связи с ограниченным объемом диссертации) характеризующих различные фазы вегетации. В таблице 2 дан полный компонентный состав идентифицированных ЛНОС в составе эфирного масла рдеста туполистного собранного в конце августа 2014 г. (вегетация после плодоношения). На рисунке 8, в качестве примера, приведен общий вид хроматограммы эфирного масла *P. obtusifolius*, собранного в фазу цветения.

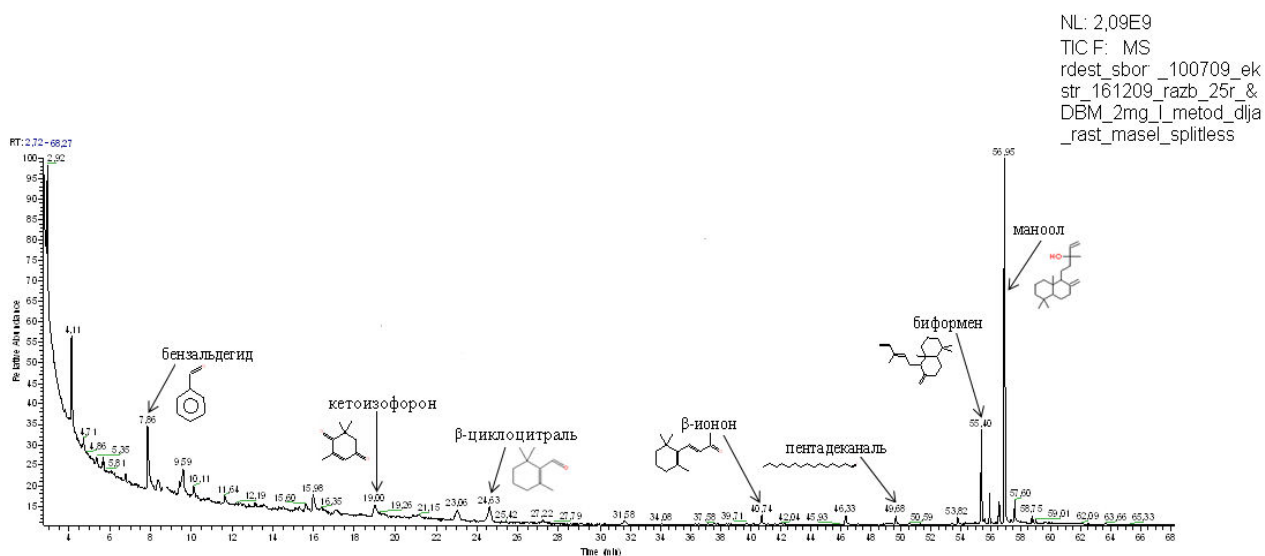


Рис. 8. Общий вид хроматограммы эфирного масла *P. obtusifolius* с указанием положения некоторых наиболее важных соединений, фаза цветения.

Анализ компонентного состава ЛНОС эфирного масла *P. obtusifolius*, в различные фазы вегетации, показали наличие большого количества соединений, принадлежащих к различным классам (табл. 1-3).

Таблица 1.

Компонентный состав эфирного масла *P. obtusifolius* в различные фазы вегетации (I – начало вегетации; II – цветение; III – начало плодоношения; IV – вегетация после плодоношения) (RT – время удерживания, мин; ИК – индекс Ковача).

№	Компонент	Формула	RT	ИК	Содержание компонента в эфирном масле (%)			
					I	II	III	IV
1	1-метилциклопентан-1-ол	C ₆ H ₁₂ O	2.75	804	-	0.16	0.13	0.01
2	гексаналь	C ₆ H ₁₂ O	2.83	807	0.20	0.15	0.40	0.87
3	1-этил-5,5-диметил-циклопента-1,3-диен	C ₉ H ₁₄	3.76	840	-	-	-	0.03
4	(E)-гекс-2-ен-1-ол	C₆H₁₂O	4.05	851	0.32	0.56	1.18	0.55
5	1-гексанол	C ₆ H ₁₄ O	4.65	872	0.05	0.04	0.06	0.15
6	2-гептанон	C ₇ H ₁₄ O	5.28	895	0.09	0.03	0.04	0.10
7	(E)-гепт-4-еналь	C ₇ H ₁₂ O	5.55	903	0.02	0.01	0.03	0.03
8	гептаналь	C ₇ H ₁₄ O	5.63	905	0.04	0.03	0.06	0.12
9	2-метилпентан-2-тиол	C ₆ H ₁₄ S	6.08	914	0.01	0.02	0.02	0.02
10	неидентифицированное <i>m/z</i> 109 [M ⁺], 44 (100)		6.14	916	0.06	-	-	-
11	(E)-гепт-3-ен-2-он	C ₇ H ₁₂ O	7.14	937	-	-	-	0.01
12	бензальдегид	C ₇ H ₆ O	7.88	953	0.58	0.35	0.66	0.44
13	2-метилоктан-3-он	C ₉ H ₁₈ O	9.44	987	0.03	0.09	0.12	0.10
14	фуран, 2-пентил-	C ₉ H ₁₄ O	9.59	990	0.14	0.37	0.34	0.53
15	октеналь	C ₈ H ₁₄ O	9.92	997	-	0.17	-	-
16	цис-2-(2-пентенил)фуран	C ₉ H ₁₂ O	10.11	1001	0.10	0.29	0.08	0.12
17	октаналь	C ₈ H ₁₆ O	10.27	1004	-	-	0.01	0.06
18	(2E,4E)-гепта-2,4-диеналь	C ₇ H ₁₀ O	10.42	1006	-	-	-	0.01
19	(E)-3,6-диметил-окт-5-ен-2-он	C ₁₀ H ₁₈ O	10.49	1008	-	0.02	-	-

20	циклогексанон, 2,2,6-триметил-	$C_9H_{16}O$	11.62	1026	0.03	0.03	0.05	0.06
21	1,3-диоксолан-4-он, 2-(1,1-диметилэтил)-5-метилен-, (S)-	$C_8H_{12}O_3$	12.24	1037	0.22	-	-	-
22	2-фенилацетальдегид	C_8H_8O	12.25	1051	-	-	-	0.01
23	3,5,5-триметилциклогекс-2-ен-1-он; [изофорон]	$C_9H_{14}O$	13.12	1052	-	0.01	0.04	0.07
24	(E)-окт-2-еналь	$C_8H_{14}O$	13.40	1056	-	-	-	0.02
25	бензальдегид, 4-метил-	C_8H_8O	13.57	1059	-	0.02	0.03	0.03
26	N-изопропил-2-бутенамид	$C_7H_{13}NO$	14.04	1067	-	-	-	0.03
27	3,5-октадиен-2-он (изомер)	$C_8H_{12}O$	14.30	1071	-	-	-	0.03
28	3-этил-2-метилгепт-2-ен	$C_{10}H_{20}$	14.47	1074	-	-	0.02	0.04
29	(E)-ундец-2-ен	$C_{11}H_{22}$	14.65	1077	-	-	-	0.01
30	5-метил-2-проп-1-ен-2-илциклогексан-1-ол; [изопулегол]	$C_{10}H_{18}O$	15.30	1088	-	-	0.02	0.03
31	3,5-октадиен-2-он	$C_8H_{12}O$	15.57	1092	-	0.05	0.07	0.15
32	2,6-диметилциклогексан-1-ол	$C_8H_{16}O$	15.97	1099	0.03	0.04	0.24	0.11
33	3,3,5-триметилциклогексан-1-ол, транс-	$C_9H_{18}O$	16.32	1104	0.01	0.03	0.09	0.13
34	3,5-диметил-1,2,4-тритиолан	$C_4H_8S_3$	17.10	1114	0.03	0.02	0.04	0.05
35	(метилтио)гексаналь	$C_7H_{14}OS$	18.36	1130	-	-	-	0.09
36	2,6,6-триметилциклогекс-2-ен-1,4-дион; [кетозофорон]	$C_9H_{12}O_2$	19	1138	0.07	0.12	0.16	0.06

37	5-бутил-3-метоксициклопент-2-ен-1-он	$C_{10}H_{16}O_2$	19.26	1141	-	-	0.04	-
38	3-метилциклопентан-1-он	$C_8H_{14}O$	19.50	1144	-	-	-	0.01
39	неидентифицированное m/z 151 [M^+], 105(100)		20.58	1158	-	-	-	0.04
40	4-этилбензальдегид	$C_9H_{10}O$	21.15	1165	-	0.01	0.04	0.04
41	2,6,6-триметилциклогекса-1,3-диен-1-карбальдегид; [дегидро- β -циклоцитраль], [сафраналь]	$C_{10}H_{14}O$	23.01	1189	0.05	0.04	0.18	0.29
42	додекан	$C_{12}H_{26}$	22, 81	120 0	-	-	-	0.01
43	2,6,6-триметилциклогексен-1-карбальдегид; [β -циклоцитраль]	$C_{10}H_{16}O$	24.62	1210	0.05	0.07	0.18	0.19
44	2-(2,6,6-триметилциклогексен-1-ил)ацетальдегид	$C_{11}H_{18}O$	27.24	1244	-	-	0.01	0.05
45	1-метилнафталин	$C_{11}H_{10}$	29.12	1268	-	-	-	0.02
46	1,1,6-триметил-1,2-дигидронафталин	$C_{13}H_{16}$	34.08	1342	-	0.02	0.03	0.04
47	2-бутил-2-октеналь	$C_{12}H_{22}O$	36.07	1375	-	-	-	0.03
48	4-[1,1-диметилэтил]- α -метилбензолэтаналь	$C_{13}H_{18}O$	36.27	1378	-	-	0.02	0.04
49	(4Z)-4-(2,6,6-триметилциклогексен-2-ен-1-илиден)бутан-2-он; [ретро-ионон]	$C_{13}H_{20}O$	36.54	1382	-	-	0.02	0.03

50	2,6-диметилнафталин	$C_{12}H_{12}$	36.64	1384	-	-	-	0.01
51	3-метил-2-(2-пентен-1-ил)-2-циклопентен-1-он; [жасмон]	$C_{11}H_{16}O$	37.16	1392	-	0.03	0.06	0.02
52	тетрадекан	$C_{14}H_{30}$	37.57	1400	0.03	0.03	0.08	0.05
53	6,10-диметилундекан-2-он	$C_{13}H_{26}O$	37.77	1404	0.04	0.04	0.04	0.05
54	(3E)-4-(2,6,6-триметилциклогекс-2-ен-1-ил)бут-3-ен-2-он; [α -ионон]	$C_{13}H_{20}O$	38.39	1419	0.02	0.02	0.04	0.12
55	(E)-4-(2,4,4-триметилциклогекс-1,5-диен-1-ил)бут-3-ен-2-он	$C_{13}H_{18}O$	38.55	1423	0.01	0.01	0.02	0.05
56	6-метил-6-(5-метилфуран-2-ил)гептан-2-он	$C_{13}H_{20}O_2$	38.67	1426	0.02	0.02	0.02	0.03
57	4-(2,6,6-триметил-1-циклогексенил)бутан-2-он; [дигидро- β -ионон]	$C_{13}H_{22}O$	38.87	1431	-	-	-	0.01
58	2-(2,6-диметилгепт-6-ен-2-ил)-5-метилфуран	$C_{14}H_{22}O$	39.47	1446	-	0.01	0.01	0.04
59	(5Z)-6,10-диметилундека-5,9-диен-2-он; [геранилацетон]	$C_{13}H_{22}O$	39.70	1452	0.10	0.14	0.22	0.17
60	5-изопропил-8-метил-3-метилен-1,3,4,7,8,8а-гексагидро-4а(2H)-нафталенол	$C_{15}H_{24}O$	39.87	1456	-	-	-	0.01

61	5,8а-диметил-3-пропан-2-ил-2,3,4,4а,5,6,7,8-октагидро-1Н-нафталин; [селинан]	$C_{15}H_{28}$	40.17	1464	0.13	0.18	0.08	0.07
62	2,6-ди(терт-бутил)-4-гидрокси-4-метил-2,5-циклогексадиен-1-он	$C_{15}H_{24}O_2$	40.42	1470	0.04	0.08	0.01	0.01
63	(Е)-4-(2,6,6-триметилциклогексен-1-ил)бут-3-ен-2-он; [β-ионон]	$C_{13}H_{20}O$	40.73	1478	0.55	0.78	1.59	1.15
64	дибензофуран	$C_{12}H_8O$	41.17	1489	-	0.02	0.03	0.04
65	тридекан-2-он	$C_{13}H_{26}O$	41.40	1495	-	-	0.01	0.02
66	пентадекан	$C_{15}H_{32}$	41.58	1500	-	-	0.02	0.06
67	2,4,6-три(пропан-2-ил)фенол	$C_{15}H_{24}O$	41.78	1504	-	-	-	0.03
68	1,6-диметил-4-пропан-2-ил-1,2,3,4-тетрагидронафталин; [каламенен]	$C_{15}H_{22}$	41.89	1506	0.03	-	-	-
69	2(4Н)бензофуранон, 5,6,7,7α-тетрагидро-4,4,7 α-триметил-; [дигидроактинидиолид]	$C_{11}H_{16}O_2$	41.93	1507	0.03	0.06	0.07	0.07
70	4-(2-метил-3-оксоциклогексил) бутаналь	$C_{11}H_{18}O_2$	42.03	1509	0.03	0.09	0.10	0.05
71	8а-метилгексагидро-1,8(2Н,5Н)-нафталендион	$C_{11}H_{16}O_2$	42.22	1514	0.02	0.11	0.07	0.09
72	9Н-флуорен	$C_{13}H_{10}$	43.8	1550	-	-	-	0.02

73	9-бутил- 1,2,3,4,4а,5,6,7,8,8а,9,9а,1 0,10а-тетрадекагидро- антрацен	$C_{18}H_{32}$	44.28	1561	0.03	0.03	-	-
74	1-додеканол, 3,7,11- триметил-	$C_{15}H_{32}O$	44.4	1564	-	-	-	0.02
75	(Е)-2-метил-4-(2,6,6- триметилциклогексен-1- ил)бут-2-еналь	$C_{14}H_{22}O$	44.77	1572	0.02	0.03	0.03	0.08
76	додекановая кислота	$C_{12}H_{24}O_2$	44.88	1575	-	-	-	0.11
77	(3Е,5Е)-6,10- диметилундека-3,5,9- триен-2-он; [псевдоионон]	$C_{13}H_{20}O$	45.15	1581	-	-	0.02	0.04
78	диэтилбензол-1,2- дикарбоксилат; [диэтилфталат]	$C_{12}H_{14}O_4$	45.51	1589	0.07	0.06	0.02	0.03
79	гексадекан	$C_{16}H_{34}$	45.91	1600	-	-	0.02	0.06
80	5,6,7,8-тетраметил- 1,2,3,4- тетрагидронафталин	$C_{14}H_{20}$	46.06	1602	-	-	-	0.02
81	2-[(2R,4aS)-4а,8- диметил-2,3,4,5,6,7- гексагидро-1Н-нафталин- 2-ил] пропан-2-ол; [γ-эудесмол]	$C_{15}H_{26}O$	46.56	1617	0.17	0.12	0.08	0.03
82	2-[(2R,4aR,8aS)-4а- метил-8-метилен- 1,2,3,4,5,6,7,8а- октагидронафталин-2- ил]пропан-2-ол; [β-эудесмол]	$C_{15}H_{26}O$	47.15	1635	0.47	0.08	0.02	0.07

83	2-[(2R,4aR,8aR)-4a,8-диметил-2,3,4,5,6,8а-гексагидро-1H-нафталин-2-ил]пропан-2-ол; [α-эудесмол]	C ₁₅ H ₂₆ O	47.28	1638	0.40	0.04	0.03	0.04
84	неидентифицированное m/z 210 [M ⁺], 148(100)		48.26	1667	0.01	0.01	0.01	0.02
85	[(2E)-3,7-диметил-окта-2,6-диенил] 3-метилбутаноат; [геранилизовалерат]	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	48.44	1673	0.02	0.01	0.03	0.04
86	2-тетрадецил оксиран	C ₁₆ H ₃₂ O	48.56	1676	0.05	0.03	0.03	0.09
87	неидентифицированное m/z 204? [M ⁺], 148 (100)		48.79	1683	-	-	0.02	0.04
88	(Z)-пентадец-11-еналь	C ₁₅ H ₂₈ O	49.01	1689	0.02	0.02	0.03	0.04
89	(E)-гептадец-3-ен	C ₁₇ H ₃₄	49.26	1697	0.15	0.08	0.08	0.08
90	гептадекан	C ₁₇ H ₃₆	49.31	1700	0.18	0.06	0.13	0.10
91	пентадеканаль	C₁₅H₃₀O	49.67	1710	0.65	1.03	1.21	0.70
92	тетрадекановая кислота, изомер	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	50.39	1735	-	-	-	0.05
93	фенантрен	C ₁₄ H ₁₀	50.59	1741	0.09	0.05	0.09	0.11
94	2,6-ди-трет-бутил-4-этилфенол	C ₁₆ H ₂₆ O	50.77	1747	-	-	-	0.02
95	тетрадекановая кислота	C₁₄H₂₈O₂	51.31	1766	0.04	0.04	0.03	1.34
96	2-(4а,8-диметил-6-оксо-1,2,3,4,4а,5,6,8а-октагидронафталин-2-ил)пропаналь	C ₁₅ H ₂₂ O ₂	51.56	1774	0.03	0.02	0.01	-
97	октадекан	C ₁₈ H ₃₈	52.24	1800	0.05	0.02	0.02	0.05

98	3,3,4,5,5,8- гексаметил- 6,7-дигидро-2H-s- индацен-1-он	$C_{18}H_{24}O$	52.42	1804	0.01	0.02	0.03	0.02
99	гексадеканаль	$C_{16}H_{32}O$	52.77	1816	0.02	0.03	0.01	0.09
100	2,3,4,5-тетра(пропан- 2- илиден)циклопентан-1- он	$C_{17}H_{24}O$	53.45	1840	0.03	0.01	0.09	0.29
101	пентадекановая кислота, изомер	$C_{15}H_{30}O_2$	53.62	1846	-	-	-	0.13
102	6,10,14-триметилпента- декан-2-он	$C_{18}H_{36}O$	53.82	1854	0.80	0.74	1.20	1.16
103	бис (2-метилпропил)-1,2- бензолдикарбоксилат; [диизобутилфталат]	$C_{16}H_{22}O_4$	54.32	1871	0.50	0.35	0.35	0.33
104	пентадекановая кислота	$C_{15}H_{30}O_2$	54.57	1880	-	-	0.07	0.14
105	(5E,8E,11E)- гептадека- 5,8,11-триен-1-ол	$C_{17}H_{30}O$	54.73	1886	0.04	0.03	-	0.06
106	1-метил-7-пропан-2-ил- 1,2,3,4,4a,9,10,10a- октагидрофенантрен	$C_{18}H_{26}$	54.87	1891	0.13	0.12	0.10	0.24
107	4b,8,8-триметил- 5,6,7,8a,9,10- гексагидрофенантрен-3- ол	$C_{17}H_{24}O$	54.98	1895	0.01	0.18	0.34	0.97
108	нонадекан	$C_{19}H_{40}$	55.10	1900	0.36	0.1	0.09	0.01
109	1,1,4a-триметил-6- метилен 5-(3-метил- 2,4- пентадиен-1- ил)декагидронаф- талин; [биформен]	$C_{20}H_{32}$	55.40	1921	25.16	24.78	12.44	5.00

110	5α-андростан-16-он	C₁₉H₃₀O	55.55	1932	2.20	1.04	0.71	0.42
111	(E)-6-метил-8-(2,6,6-триметил циклогексен-1-ил)окт-5-ен-2-он	C ₁₈ H ₃₀ O	55.62	1938	0.68	0.46	0.63	0.44
112	3,9b-эпокси-9bH-бензилиден, додекагидро-3,3a,6,6,9a-пентаметил	C ₁₈ H ₃₀ O	55.67	1941	0.81	0.52	0.07	-
113	дибутилбензол-1,2-дикарбоксилат; [дибутилфталат]	C₁₆H₂₂O₄	55.93	1961	1.94	1.42	2.86	3.13
114	гексадеценовая кислота	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	56.10	1974	-	-	-	0.01
115	гексадекановая кислота	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	56.22	1983	0.74	-	0.20	2.37
116	неидентифицированное <i>m/z</i> 272 [M ⁺], 81 (100)		56.28	1987	-	-	0.05	-
117	3b-этенил-1,3a,3b,7,7-пентаметил-додекагидро-1H-нафто [2,1-b]пиран; [маноил-оксид]	C ₂₀ H ₃₄ O	56.37	1994	0.11	0.12	0.19	0.32
118	(2S,4aS)-2-этенил-2,4a,8,8-тетраметил-3,4,4b,5,6,7,10,10a-октагидро-1H-фенантрен; [римуен]	C₂₀H₃₂	56.51	2006	2.90	2.07	0.61	0.19
119	каур-16-ен; [каурен]	C₂₀H₃₂	56.58	2014	6.59	5.41	2.41	0.76
120	10,13-диметил-1,2,3,7,8,9,11,12,14,15,16,17-додекагидроциклопента[а]фенантрен-4-он; [андрост-5-ен-4-он]	C ₁₉ H ₂₈ O	56.65	2021	-	-	-	0.08

121	5-[(1S,4aS,8aS)-5,5,8a-триметил-2-метилен-3,4,4a,6,7,8-гексагидро-1H-нафталин-1-ил]-3-метилпент-1-ен-3-ол; [маноол]	$C_{20}H_{34}O$	57	2058	43.97	49.24	62.58	66.01
122	генэйкозан	$C_{21}H_{44}$	57.36	2100	1.35	0.52	0.28	0.69
123	метилоктадеcanoат	$C_{19}H_{38}O_2$	57.6	2126	1.78	3.10	0.99	0.97
124	(E,7R,11R)-3,7,11,15-тетраметилгексадец-2-ен-1-ол; [фитол]	$C_{20}H_{40}O$	57.7	2139	0.78	1.09	1.39	1.31
125	4a,7-диметил-7-винил-1,2,3,4,4a,4b,5,6,7,9,10,10a-додекагидро-1-фенантренкарбоновая кислота	$C_{19}H_{28}O_2$	57.96	2172	-	0.30	0.23	0.33
126	4-(3-гидрокси-3-метилпент-4-енил)-4a,8,8-триметил-3-метилен-5,6,7,8a-тетрагидро-4H-нафталин-1-он; [лариксон]	$C_{20}H_{32}O_2$	58.03	2181	0.07	0.22	0.08	0.13
127	(4E,8E,13Z)-1,5,9-триметил-12-пропан-2-илциклотетрадека-4,8,13-триен-1,3-диол	$C_{20}H_{34}O_2$	58.20	2203	0.17	0.12	0.13	0.11
128	(8R,9S,10R,13S,14S)-10,13-диметил-2,6,7,8,9,11,12,14,15,16-декагидро-1H-циклопента[а]фенантрен-3,17-дион; [андростендион]	$C_{19}H_{26}O_2$	58.31	2219	0.15	0.13	0.09	0.08

129	5-[(1S,4aR,5S,8aR)-5-(гидроксиметил)-5,8а-диметил-2- метилиден -3,4,4а,6,7,8-гексагидро-1Н-нафталин-1-ил]-3-метилиденпентан-1-ол; [агатадиол]	$C_{20}H_{34}O_2$	58.58	2259	-	-	0.09	0.26
130	1-(3-гидрокси-10,13-диметил-2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,14,15,16,17-тетрадекагидро-1Н-циклопента[а]фенантрон-17-ил)этанон; [прегнанолон]	$C_{21}H_{34}O_2$	58.75	2284	0.30	0.34	0.67	1.03
131	трикозан	$C_{23}H_{48}$	58.81	2300	0.56	0.43	0.35	0.23
132	8-(2,5,58А-тетраметил-1,4,4А,5,6,7,8,8А-октагидро-1-нафталенил)-6-метил-5-октен-2-ол	$C_{23}H_{40}O$	59.03	2327	0.53	0.28	0.42	0.95
133	неидентифицированное m/z 302 $[M^+]$, 81 (100)		59.68	2431	0.55	-	-	-
134	5-[2-(3-фурил)этил]-1,4А-диметил-6-метилендекагидро-1-нафталинкарбоновая кислота	$C_{20}H_{28}O_3$	59.7	2434	-	0.33	0.64	0.49
135	(4,10,13-триметил-3-оксо-1,2,6,7,8,9,11,12,14,15,16,17-додекагидроциклопента[а]фенантрон-17-ил) ацетат	$C_{22}H_{32}O_3$	59.88	2461	0.26	0.08	0.28	0.31

Продолжение табл. 1

136	пентакозан	$C_{25}H_{52}$	60.08	2500	0.2	0.1	0.13	0.04
137	бис(2-этилгексил)-1,2-бензолдикарбоксилат; [диэтилгексилфталат]	$C_{24}H_{38}O_4$	60.45	2538	0.02	0.03	0.02	0.06
138	гептакозан	$C_{27}H_{56}$	61.92	2700	0.11	0.04	-	0.02
139	(22E)-3 α -эргоста-14,22-диен-5 β -ол ацетат	$C_{30}H_{50}O_2$	62.07	2704	0.30	-	0.16	0.47
140	1-оксоандростан-3,17-диилдиацетат	$C_{23}H_{34}O_5$	62.18	2712	-	0.11	-	-
141	2,6,10,15,19,23-гексаметилтетракоза-2,6,10,14,18,22-гексаен; [сквален]	$C_{30}H_{50}$	63.67	2815	0.26	0.04	0.24	0.14
	Концентрация эфирного масла в сухих растениях, мг/г сух.в.				0.385	0.155	0.330	0.540
	Общее число веществ				85	93	105	128
	из них неидентифицированных				3	1	2	3

Примечание: 1) полужирным шрифтом выделены вещества, доля которых хотя бы в один из периодов превышала 1%; 2) «-» - означает, что компонент не обнаружен; 3) для некоторых веществ в квадратных скобках указаны тривиальные или наиболее часто употребляемые наименования.

Таблица 2.

Компонентный состав эфирного масла *P. obtusifolius* в 2014 г., вегетация после плодоношения (RT – время удерживания, мин; ИК – индекс Ковача).

№	Компонент	Формула	RT	ИК	Относ. к-во, %	Конц. в сух. раст., мг/г
1	циклопентанол, 1-метил-	$C_6H_{12}O$	2.52	796	0.32	0.0047
2	гексаналь	$C_6H_{12}O$	2.66	802	0.45	0.0066
3	2-гексанол	$C_6H_{14}O$	2.74	805	0.58	0.0086
4	неидентифицированное m/z 82 [M^+], 71 (100)		3.68	843	0.22	0.0032
5	2-гексен-1-ол, (E)-	$C_6H_{12}O$	3.76	846	0.98	0.0144
6	этилбензол	C_8H_{10}	4.1	859	0.06	0.0009
7	1-гексанол	$C_6H_{14}O$	4.3	867	0.01	0.0001
8	(4E)-4-этилиденециклогексен	C_8H_{12}	4.4	871	0.01	0.0002
9	гексан-2,4-дион	$C_6H_{10}O_2$	4.54	877	0.01	0.0001
10	1,3-диметилбензол	C_8H_{10}	4.74	885	0.02	0.0003
11	2-гептанон	$C_7H_{14}O$	4.92	892	0.02	0.0003
12	4-гептеналь	$C_7H_{12}O$	5.14	899	0.02	0.0003
13	гептаналь	$C_7H_{14}O$	5.22	902	0.03	0.0005
14	(E)-гепт-3-ен-2-он	$C_7H_{12}O$	6.61	935	0.02	0.0002
15	бензальдегид	C_7H_6O	7.29	950	0.03	0.0005
16	2-гептеналь	$C_7H_{12}O$	7.39	953	0.05	0.0007
17	3-останон, 2-метил-	$C_9H_{18}O$	8.77	985	0.09	0.0013
18	фуран, 2-пентил-	$C_9H_{14}O$	8.91	988	0.14	0.0020
19	2,3-диметилциклопент-2-ен-1-он	$C_7H_{10}O$	9.23	995	0.04	0.0006
20	цис-2-(2-пентенил)фуран	$C_9H_{12}O$	9.39	999	0.09	0.0013
21	останаль	$C_8H_{16}O$	9.59	1003	0.04	0.0005
22	(2E,4E)-гепта-2,4-диеналь	$C_7H_{10}O$	10.03	1010	0.04	0.0006
23	1-метил-4-проп-1-ен-2-илциклогексен	$C_{10}H_{16}$	10.53	1019	0.02	0.0003
24	циклогексанон, 2,2,6-триметил-	$C_9H_{16}O$	10.89	1025	0.02	0.0003

25	2-фенилацетальдегид	C ₈ H ₈ O	11.53	1036	0.03	0.0004
26	3,5,5-триметилциклогекс-2-ен-1-он; [изофорон]	C ₉ H ₁₄ O	12.35	1051	0.01	0.0002
27	2-октеналь (Е)-	C ₈ H ₁₄ O	12.65	1056	0.01	0.0002
28	бензальдегид, 4-метил-	C ₈ H ₈ O	12.77	1058	0.01	0.0001
29	3,3,5-триметилциклогексан-1-ол, транс-	C ₉ H ₁₈ O	13.67	1074	0.01	0.0001
30	3,5-октадиен-2-он (изомер)	C ₈ H ₁₂ O	13.69	1074	0.02	0.0003
31	(Е)-ундец-2-ен	C ₁₁ H ₂₂	13.9	1078	0.02	0.0003
32	5-метил-2-проп-1-ен-2-илциклогексан-1-ол; [изопулегол]	C ₁₀ H ₁₈ O	14.48	1088	0.01	0.0001
33	3,5-октадиен-2-он	C ₈ H ₁₂ O	15	1097	0.02	0.0003
34	циклогексанол, 2,6-диметил-	C ₈ H ₁₆ O	15.20	1101	0.05	0.0007
35	неидентифицированное <i>m/z</i> 124? [M ⁺], 56 (100)		15.48	1104	0.04	0.0006
36	неидентифицированное <i>m/z</i> 281 [M ⁺], 57 (100)		16.11	1112	0.02	0.0002
37	2,6,6-триметил-2-циклогекс-2-ен-1,4-дион [кетозофорон]	C ₉ H ₁₂ O ₂	18.02	1137	0.02	0.0003
38	3-метилциклопентан-1-он	C ₈ H ₁₄ O	18.14	1139	0.03	0.0005
39	4-этилбензальдегид	C ₉ H ₁₀ O	19.92	1162	0.02	0.0003
40	2,6,6-триметилциклогекса-1,3-диен-1-карбальдегид; [дегидро-β-циклоцитраль], [сафраналь]	C ₁₀ H ₁₄ O	22.01	1189	0.02	0.0002
41	додекан	C ₁₂ H ₂₆	22.81	1200	0.07	0.001
42	1-циклогексен-1-карбоксальдегид, 2,6,6-триметил- [β-циклоцитраль]	C ₁₀ H ₁₆ O	23.57	1210	0.05	0.0007

43	2-(2,6,6-триметилциклогексен-1-ил)ацетальдегид	$C_{11}H_{18}O$	26.2	1245	0.02	0.0003
44	1-метилнафталин	$C_{11}H_{10}$	28.14	1272	0.03	0.0004
45	1,1,6-триметил-2Н-нафталин	$C_{13}H_{16}$	32.97	1341	0.02	0.0003
46	2-бутил-2-октеналь	$C_{12}H_{22}O$	35.18	1375	0.01	0.0001
47	(E)-4-(2,4,4-триметилциклогекс-1,5-диен-1-ил)бут-3-ен-2-он	$C_{13}H_{18}O$	35.5	1380	0.01	0.0002
48	тетрадец-1-ен	$C_{14}H_{28}$	36.44	1394	0.02	0.0002
49	2-терт-бутил-5-метилфенол	$C_{11}H_{16}O$	36.56	1396	0.01	0.0002
50	2,6-диметилнафталин	$C_{12}H_{12}$	36.66	1397	0.01	0.0001
51	тетрадекан	$C_{14}H_{30}$	36.82	1400	0.07	0.0011
52	2-ундеканон, 6,10-диметил-	$C_{13}H_{26}O$	37.1	1406	0.01	0.0001
53	4-(2,6,6-триметил-2-циклогексинил)-3-бутен-2-он; [α-ионон]	$C_{13}H_{20}O$	37.7	1421	0.02	0.0002
54	6,10-диметил-5,9-ундекадиен-2-он; [геранилацетон]	$C_{13}H_{22}O$	39.09	1454	0.03	0.0005
55	5,8а-диметил-3-пропан-2-ил-2,3,4,4а,5,6,7,8-октагидро-1Н-нафталин; [селинан]	$C_{15}H_{28}$	39.49	1464	0.01	0.0001
56	2,6-ди(терт-бутил)-4-гидрокси-4-метил-2,5-циклогексадиен-1-он	$C_{15}H_{24}O_2$	39.79	1471	0.01	0.0002
57	(4Z)-4-(2,6,6-триметилциклогекс-2-ен-1-илиден)бутан-2-он; [ретро-ионон]	$C_{13}H_{20}O$	40.09	1478	0.31	0.0046
58	(E)-4-(2,6,6-триметилциклогексен-1-ил)бут-3-ен-2-он; [β-ионон]	$C_{13}H_{20}O$	40.30	1484	0.01	0.0002

59	дибензофуран	$C_{12}H_8O$	40.55	1490	0.01	0.0001
60	пентадекан	$C_{15}H_{32}$	40.97	1500	0.02	0.0002
61	2,4,6-три(пропан-2-ил)фенол	$C_{15}H_{24}O$	41.14	1504	0.01	0.0001
62	2(4H)-бензофуранон, 5,6,7,7 α -тетрагидро-4,4,7 α -триметил-; [дигидроактинидиолид]	$C_{11}H_{16}O_2$	41.29	1507	0.02	0.0003
63	5,5-диметил-2-пропилциклогексан-1,3-дион	$C_{11}H_{18}O_2$	41.45	1511	0.03	0.0004
64	8 α -метилгексагидро-1,8(2H,5H)-нафталендион	$C_{11}H_{16}O_2$	41.59	1515	0.04	0.0005
65	2-бутеналь, 2-метил-4-(2,6,6-триметил-1-циклогексен-1-ил)-	$C_{14}H_{22}O$	43.9	1570	0.01	0.0002
66	диэтилбензол-1,2-дикарбоксилат; [диэтилфталат]	$C_{12}H_{14}O_4$	44.78	1591	0.01	0.0002
67	гексадекан	$C_{16}H_{34}$	45.14	1600	0.05	0.0008
68	додекановая кислота	$C_{12}H_{24}O_2$	46.4	1634	0.02	0.0002
69	2-[(2R,4aS)-4а,8-диметил-2,3,4,5,6,7-гексагидро-1H-нафталин-2-ил]пропан-2-ол; [γ -эудесмол]	$C_{15}H_{26}O$	46.55	1638	0.01	0.0002
70	2-гексилдекан-1-ол	$C_{16}H_{34}O$	46.94	1649	0.03	0.0004
71	неидентифицированное m/z 210 [M^+], 148(100)		47.6	1668	0.02	0.0003
72	[(2E)-3,7-диметилокта-2,6-диенил] 3-метилбутаноат [геранилизовалерат]	$C_{15}H_{26}O_2$	47.83	1674	0.02	0.0003
73	2-тетрадецилоксиран	$C_{16}H_{32}O$	47.97	1678	0.02	0.0004
74	неидентифицированное m/z 284 [M^+], 142 (100)		48.03	1679	0.03	0.0005
75	неидентифицированное m/z 204? [M^+], 148 (100)		48.25	1686	0.01	0.0002

76	(Z)-пентадец-11-еналь	C ₁₅ H ₂₈ O	48.41	1690	0.04	0.0005
77	гептадекан	C ₁₇ H ₃₆	48.73	1700	0.07	0.0011
78	пентадеканаль	C ₁₅ H ₃₀ O	49.11	1712	0.59	0.0087
79	тетрадекановая кислота, изомер	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	49.89	1739	0.01	0.0001
80	фенантрен	C ₁₄ H ₁₀	50.03	1744	0.04	0.0006
81	2,6-ди-трет-бутил-4-этилфенол	C ₁₆ H ₂₆ O	50.25	1752	0.02	0.0003
82	1,5,6,7-тетраметил-3-фенилбицикло[3.2.0]гепта-3,6-диен	C ₁₇ H ₂₀	50.71	1768	0.02	0.0004
83	неидентифицированное <i>m/z</i> 267 [M ⁺], 133 (100)		50.89	1775	0.01	0.0001
84	тетрадекановая кислота	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	51.19	1785	0.36	0.0054
85	октадекан	C ₁₈ H ₃₈	51.58	1800	0.14	0.0020
86	пентадекановая кислота, изомер	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	51.74	1804	0.01	0.0002
87	гексадеканаль	C ₁₆ H ₃₂ O	52.08	1815	0.08	0.0012
88	2,3,4,5-тетра(пропан-2-илиден)циклопентан-1-он	C ₁₇ H ₂₄ O	52.6	1832	0.03	0.0005
89	2-пентадеканон, 6,10,14-триметил	C ₁₈ H ₃₆ O	53.1	1848	0.32	0.0047
90	бис (2-метилпропил)-1,2-бензолдикарбоксилат; [диизобутилфталат]	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	53.76	1870	0.45	0.0067
91	(5E,8E,11E)- гептадека-5,8,11-триен-1-ол	C ₁₇ H ₃₀ O	54.28	1887	0.09	0.0013
92	(7Z,10Z,13Z)-гексадека-7,10,13-триеналь	C ₁₆ H ₂₆ O	54.4	1891	0.35	0.0052
93	4b,8,8-триметил-5,6,7,8a,9,10-гексагидрофенантрен-3-ол	C ₁₇ H ₂₄ O	54.46	1893	0.3	0.0043
94	нонадекан	C ₁₉ H ₄₀	54.7	1900	0.01	0.0002
95	1,1,4a-триметил-6-метил-5-(3-метил-2,4-пентадиен-1-ил)декагидронафталин [биформен]	C₂₀H₃₂	55.06	1925	19.03	0.2810

96	5 α -андростан-16-он	C ₁₉ H ₃₀ O	55.3	1941	0.01	0.0001
97	3,7,11,15-тетраметилгексадец-1-ен-3-ол; [изофитол]	C ₂₀ H ₄₀ O	55.49	1954	0.03	0.0005
98	дибутил-1,2-бензолдикарбоксилат; [дибутилфталат]	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	55.63	1964	0.54	0.008
99	гексадеценовая кислота	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	55.73	1971	0.5	0.0073
100	n-гексадекановая кислота	C₁₆H₃₂O₂	56.13	1998	3.67	0.0541
101	каур-16-ен; [каурен]	C₂₀H₃₂	56.29	2013	5.9	0.0872
102	10,13-диметил-1,2,3,7,8,9,11,12,14,15,16,17-додекагидроциклопента[а]фенантрен-4-он; [андрост-5-ен-4-он]	C ₁₉ H ₂₈ O	56.51	2035	0.01	0.0001
103	5-[(1S,4aS,8aS)-5,5,8a-триметил-2-метилен-3,4,4a,6,7,8-гексагидро-1H-нафталин-1-ил]-3-метилпент-1-ен-3-ол; [manoол]	C₂₀H₃₄O	56.79	2063	46.05	0.6802
104	генэйкозан	C ₂₁ H ₄₄	57.16	2100	0.54	0.008
105	3,7,11,15-тетраметил-2-гексадец-1-ол; [фитол]	C₂₀H₄₀O	57.29	2116	4.49	0.0662
106	метилоктадеканоат	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	57.39	2129	0.59	0.0087
107	неидентифицированное <i>m/z</i> 246 [M ⁺], 110 (100)		57.51	2144	0.2	0.0031
108	неидентифицированное <i>m/z</i> 284? [M ⁺], 55 (100)		57.65	2161	0.03	0.0004
109	нонадека-1,18-диен-7,10-дион	C ₁₉ H ₃₂ O ₂	57.77	2176	0.28	0.0041
110	4-(3-гидрокси-3-метилпент-4-енил)-4a,8,8-триметил-3-метилен-5,6,7,8a-тетрагидро-4H-нафталин-1-он; [лариксон]	C ₂₀ H ₃₂ O ₂	57.81	2181	0.04	0.0006

111	(4E,8E,13Z)-1,5,9-триметил-12-пропан-2-илциклотетрадека-4,8,13-триен-1,3-диол	C ₂₀ H ₃₄ O ₂	57.97	2202	0.06	0.0009
112	(8R,9S,10R,13S,14S)-10,13-диметил-2,6,7,8,9,11,12,14,15,16-декагидро-1H-циклопента[а]фенантрен-3,17-дион; [андростендион]	C ₁₉ H ₂₆ O ₂	58.09	2219	0.1	0.0015
113	5-[(1S,4aR,5S,8aR)-5-(гидроксиметил)-5,8a-диметил-2-метилен-3,4,4a,6,7,8-гексагидро-1H-нафталин-1-ил]-3-метиленпентан-1-ол; [агатадиол]	C ₂₀ H ₃₄ O ₂	58.19	2234	1.32	0.0196
114	3α-гидрокси-5β-прегнан-20-он; [прегнанолон]	C ₂₁ H ₃₄ O ₂	58.55	2287	2.95	0.0436
115	трикозан	C ₂₃ H ₄₈	58.63	2300	0.85	0.0126
116	1,4,4A,5,6,7,8,8A-октагидро-1-нафталенил)-6-метил-5-октен-2-ол	C ₂₃ H ₄₀ O	58.81	2328	0.98	0.0144
117	неидентифицированное m/z 302 [M⁺], 81 (100)		59.19	2390	1.76	0.0260
118	5-[2-(3-фурил)этил]-1,4A-диметил-6-метилендекагидро-1-нафталинкарбоновая кислота	C ₂₀ H ₂₈ O ₃	59.52	2443	0.07	0.001
119	(4,10,13-триметил-3-оксо-1,2,6,7,8,9,11,12,14,15,16,17-додекагидроциклопента[а]фенантрен-17-ил) ацетат	C ₂₂ H ₃₂ O ₃	59.66	2465	0.49	0.0072
120	пентакозан	C ₂₅ H ₅₂	59.86	2500	0.26	0.0038

121	бис (2-этилгексил)-1,2-бензолдикарбоксилат; [диэтилгексилфталат]	$C_{24}H_{38}O_4$	60.21	2545	0.36	0.0053
122	гептакозан	$C_{27}H_{56}$	61.57	2700	0.02	0.0004
123	(22E)-3α-эргоста-14,22-диен-5β-ол ацетат	$C_{30}H_{50}O_2$	61.71	2711	1.16	0.0171
124	2,6,10,15,19,23-гексаметилтетракоза-2,6,10,14,18,22-гексаен; [сквален]	$C_{30}H_{50}$	63.16	2822	0.04	0.0006
	Концентрация эфирного масла в сухих растениях, мг/г сух.в.					1.4762

Примечание: 1) **полужирным шрифтом** выделены вещества, доля которых превышала 1%; 2) «-» - означает, что компонент не обнаружен; 3) для некоторых веществ в квадратных скобках указаны тривиальные или наиболее часто употребляемые наименования.

Исследование качественного состава и количественного содержания ЛНОС *P. obtusifolius* в течение вегетации 2009 г. (табл. 1) показало, что его эфирное масло содержит от 85 до 128 компонентов (в зависимости от даты отбора образцов). Всего же обнаружен 141 компонент, из которых было идентифицировано 135 веществ (табл. 1). Эфирное масло рдеста туполистного собранного в 2014 г., после проведённых ремонтно-реставрационных работ Московского парка Победы: берегоукрепление, очистка прудов содержало 124 соединения (табл. 2).

Таблица 3.

Сравнительное содержание (% по отношению к цельному эфирному маслу) основных групп веществ в образцах *P. obtusifolius*.

Группа веществ	Фаза вегетации (2009 г)				<i>P. obtusifolius</i> 2014 года сбора (вегетация после плодоноше- ния)
	Начало вегетации	Цветение	Плодоно- шение	Вегетация после плодоно- шения	
спирты	46.94	51.82	66.45	69.84	55.02
углеводороды	38.06	33.89	17.0	7.64	27.15
эфирь	4.76	5.87	5.02	5.77	2.25
кетонь	2.48	2.71	4.52	4.26	1.39
альдегидь	1.69	1.99	2.91	3.14	1.9
полифункцио- нальнь	4.4	2.96	2.87	3.1	4.84
ароматическь	0.25	0.19	0.22	0.46	0.2
углеводородь					
серо- и азотсодержащь	0.04	0.04	0.06	0.17	-
соединень					
жирнь	0.78	0.34	0.53	4.48	4.64
кислоть					
феноль	0.01	0.18	0.34	1.02	0.34
неизвестнь	0.62	0.01	0.08	0.12	2.27
соединень					

Сопоставив результаты исследований компонентного состава эфирных масел образцов рдеста туполистного собранных в одну и ту же фазу вегетации (после плодоношения) в 2009 и 2014 гг., можно сделать вывод, что их качественный состав очень похож, коэффициент сходства Жаккара (Jaccard, 1901) составил 0.658, а Сьёренсена-Чекановски (Sørensen, 1948) — 0.794. Общими для растений разных годов сбора являлось 100 веществ, среди которых основными (содержание свыше 1%, встречаемость в рдесте 2009 и 2014 гг. сбора) в исследованных образцах было 4: биформен (5% и 19.03% соответственно), маноол (66.01% и 46.05%), фитол (1.31% и 4.49%), прегнаноолон (1.03% и 2.95%).

Однако, количественное содержание как отдельных групп веществ в комплексе ЛНОС макрофитов, так и индивидуальных компонентов варьирует (табл. 1-3).

Сравнивая содержание основных групп органических веществ в образцах рдеста туполистного собранных в разные годы, можно отметить, что как в 2009, так и в 2014 г. преобладали спирты и углеводороды. Однако, если количество спиртов уменьшилось (69.84% и 55.02% соответственно) после проведенных ремонтно-реставрационных работ в парке Победы, то содержание углеводородов в составе эфирного масла рдеста, наоборот, увеличилось с 7.64 до 27.15% (табл. 3).

Прослеживаются и значительные различия в количественном содержании компонентов. Так, например, синтезирование маноола, важного соединения для отраслей медицины и парфюмерии (Dimas et al., 1998; Sell, 2003), увеличилось почти в два раза (с 356 мкг/г сух. вещества до 680 мкг/г), хотя его процентное содержание по отношению к цельному эфирному маслу уменьшилось. Необходимо отметить, что на примере рдеста плавающего показаны аналогичные количественные изменения синтезирования маноола в зависимости от биотического окружения (Курашов и др., 2014).

Количество биформена также увеличилось в рдесте 2014 г. сбора (281 мкг/г. сух. в.) в сравнении с 2009 г. (27 мкг/г сух. в.). Интересно, что количество фитоэкдистероидов, которые являются производными стерана (циклопентапергидрофенантрена) тоже увеличилось в пять раз: с 12.8 мкг/г сух. в. в 2009 г. до 69.4 мкг/г сух. в. (2014 г). Однако, содержание некоторых компонентов значительно уменьшилось. Так, например, концентрация β -иона уменьшилась с 1.15% до следовых количеств, процентное содержание 6,10,14-триметилпентадекан-2-она изменилось с 1.16% до 0.32%. Концентрации таких соединений как гексадекан, диэтилфталат, геранилизовалерат практически не изменились. Некоторые вещества были обнаружены только в рдесте 2009 или 2014 г. Так, например, серосодержащие компоненты содержались только в рдесте туполистном 2009 года сбора, а тетрадец-1-ен, изофитол в составе эфирного масла рдеста собранного в 2014 г.

Выявленные различия в компонентном составе ЛНОС рдеста могут быть объяснены различными условиями обитания растений. Так, например, данные химического анализа грунта Пейзажного пруда показывают, что количество тяжёлых металлов после проведения ремонтно-реставрационных работ уменьшилось. Содержание свинца уменьшилось с 150 мг/кг до 50.5 мг/кг, хрома от 100 мг/кг до 37.2 мг/г, меди — с 130 мг/г до 61.5 мг/г, количество никеля уменьшилось почти в 2.5 раза (57 мг/г и 21.9 мг/г соответственно). Однако, вполне возможно, что на изменение качественного состава эфирных масел повлияло изменение площади произрастания макрофитов. Так, в 2009 г. рдест туполистный образовывал сплошную прибрежную полосу шириной до 2.5 м., а в 2014 — крупные куртины.

Таким образом, различия в компонентном составе эфирных масел рдеста могут быть объяснены различными условиями обитания *P. obtusifolius*, что подтверждает способность растений менять качественный состав и количественное содержание синтезируемых ЛНОС в зависимости от условий обитания.

В течение сезона 2009 г. наблюдалось постепенное увеличение числа ЛНОС в составе эфирного масла от 85 в начале июня до 128 в конце августа. При этом наибольшее суммарное содержание ЛНОС в сухих растениях в течение вегетации были отмечены для начала вегетации (0.39 мг/г сух. в.) и поздней фазы вегетации (0.54 мг/г сух. в.) (табл. 1). Суммарная доля неидентифицированных компонентов в эфирном масле была незначительной (0.01 - 0.62%). Из обнаруженных неидентифицированных компонентов преобладало соединение со временем удерживания (RT) 59.68 мин (табл. 1, рис. 9), являющееся, судя по масс-спектру, дитерпеновым производным фенантрена. При этом постоянно на протяжении всего сезона встречалось вещество с RT = 48.26 мин (табл. 1, рис. 10).

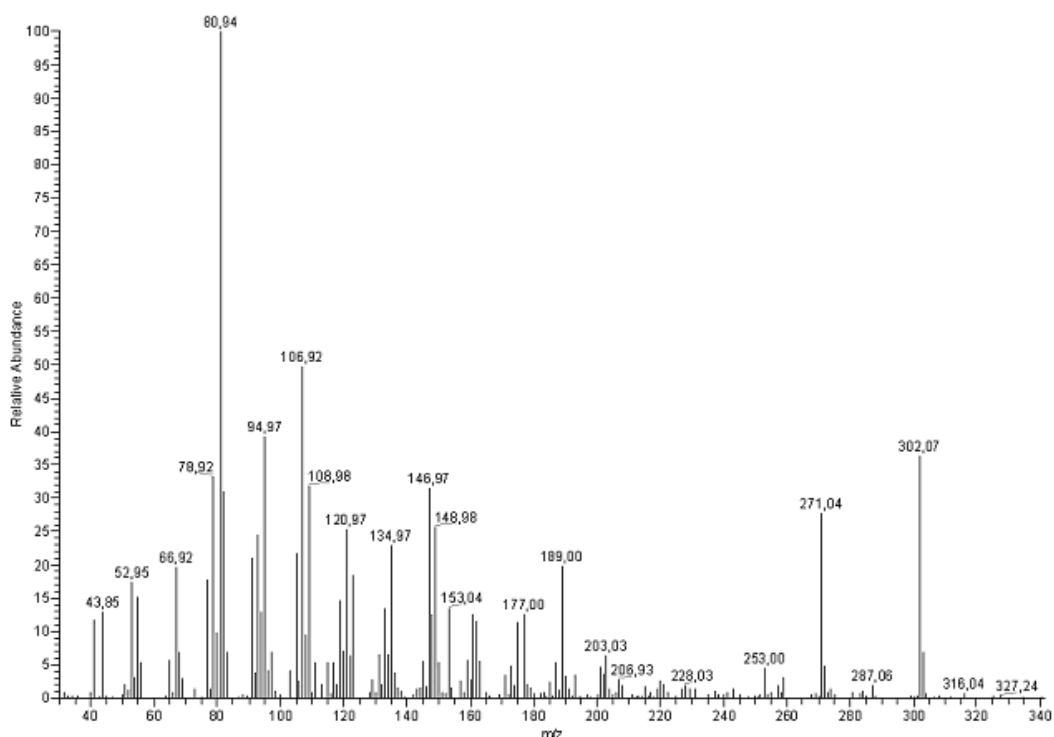


Рис. 9. Масс-спектр неидентифицированного компонента *P. obtusifolius* (RT = 59.68 мин).

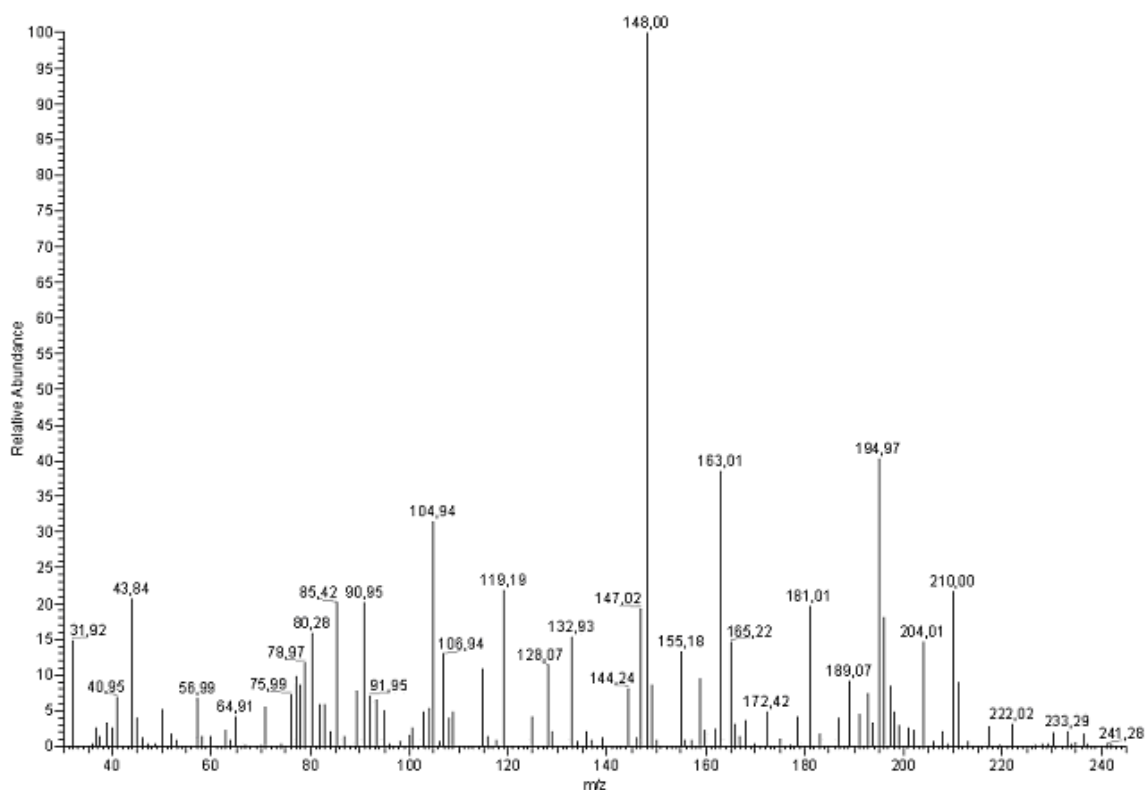


Рис. 10. Масс-спектр неидентифицированного компонента *P. obtusifolius* (RT = 48.26 мин).

По данным хромато-масс-спектрометрического анализа, общими для всего периода вегетации растений являлись 74 вещества, среди которых основными (содержание свыше 1%, встречаемость в течение всего сезона) в исследованных образцах были 15: 2-гексен-1-ол (0.32 – 1.18%); β -ионон (0.55 – 1.59%); пентадеканаль (0.65 – 1.21%); тетрадекановая кислота (0.03 – 1.34%); 2-пентадеканон, 6,10,14-триметил (0.74 – 1.2%); биформен (5 – 25.16%); 5 α -андростан-16-он (0.42 - 2.2%); дибутилфталат (1.42 – 3.13%); римуен (0.19 – 2.9%); каурен (0.76 – 6.59%); манол (43.97 – 66.01%); генэйкозан (0.28 –

1.35%); метилоктадеcanoат (0.97 – 3.1%); фитол (0.78 – 1.39 %); прегнаноолон (0.3 – 1.03%).

Изучение динамики содержания в эфирном масле рдеста туполистного некоторых групп экстрактивных веществ, растворимых в гексане, выявило их значительное колебание в течение вегетации растений. В то время, как суммарное количество спиртов (46.94 - 69.84%), альдегидов (1.69 - 3.14%), кетонов (2.48 - 4.26%) и фенольных соединений (до 1.02%) постоянно увеличивалось в процессе роста и развития растений, то количество углеводов уменьшалось от 38.06% до 7.64%. Максимальное количество эфиров было выявлено во время цветения – 5.87% от общего количества ЛНОС (табл. 3).

Анализ динамики мажорных компонентов эфирного масла *P. obtusifolius*, показал, что продуцирование манолола, масс-спектр которого представлен на рис. 11, увеличивалось в онтогенезе растения с 43.97% в начале июня до 66.01% в конце августа, а биформена (рис. 12), наоборот, уменьшалось (25.16 - 5%), данная динамика отражена на графике (рис. 13).

Максимальное количество β -ионона (1.59%), пентадеканала (1.21%), 2-пентадеканон, 6,10,14-триметил (1.2%) и некоторых других соединений приходилось на середину вегетации. Синтезирование таких минорных компонентов как 1-гексанол, 4-гептеналь, бензальдегид, тетрадекан, 2-ундеканон, геранилизовалерат и некоторых других ЛНОС оставалось практически неизменным в течение вегетации.

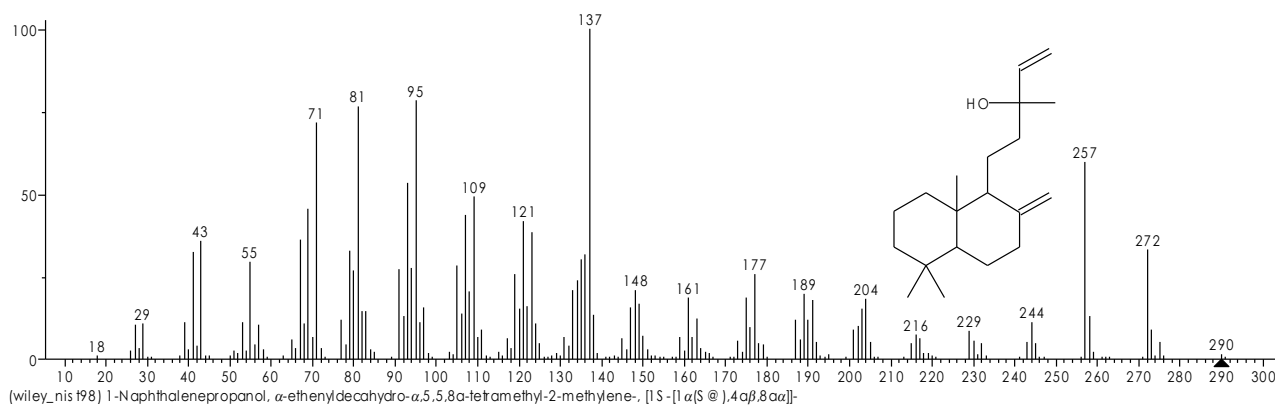


Рис. 11. Масс-спектр и структурная формула маноола.

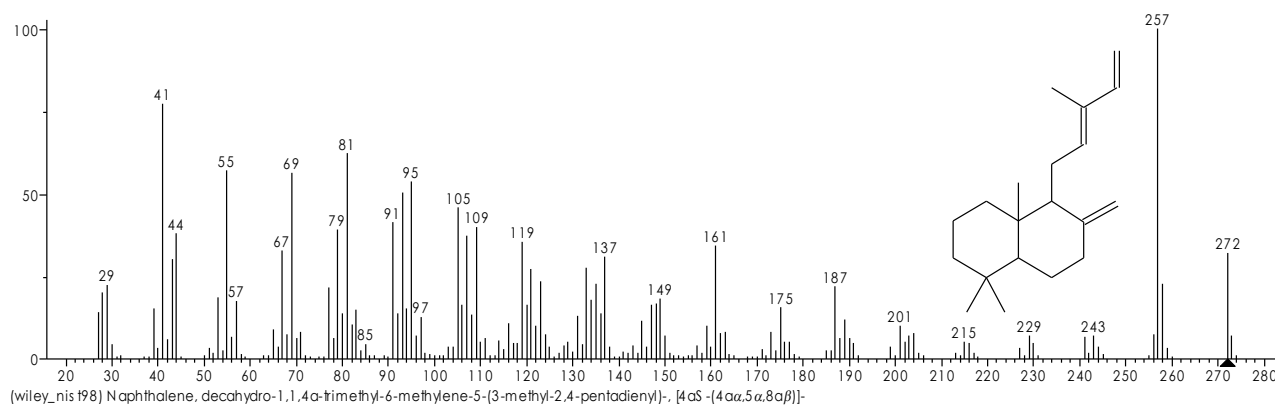


Рис. 12. Масс-спектр и структурная формула биформена.

Практически все эти соединения являются биологически активными и, по-видимому, выполняют разнообразные функции в регулировании развития *P. obtusifolius* с учетом состояния окружающей среды и взаимоотношений с другими водными организмами. Не только упомянутые, но и другие соединения с меньшим содержанием в составе ЛНОС рассматриваемого вида рдеста известны как биологически активные вещества (антимикробное, противовирусное, фунгицидное действие, участие в аллелопатических взаимодействиях, выполняющие защитные и медиаторные функции и т.д.)

(например, гексаналь, гексанол, гептанон, бензальдегид, жасмон, иононы, гексадекановая кислота, геранилацетон и др.).

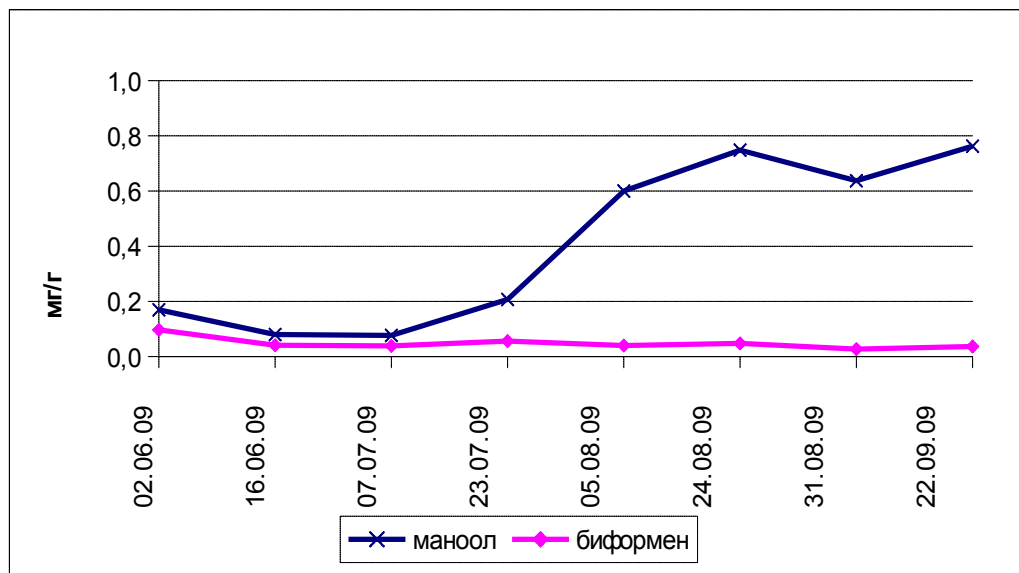


Рис. 13. Сезонное изменение концентраций манoola и биформена в *P. obtusifolius* (пруд в Парке Победы, Санкт-Петербург).

В составе эфирных масел нами были выделены серосодержащие компоненты 3,5-диметил-1,2,4-трителиолан (0.02 - 0.05%), 2-метилпентан-2-тиол (0.01 - 0.02%) и 3-(метилтио)гексаналь (0.09%). Серосодержащие метаболиты растений и их функции в пресноводных экосистемах крайне слабо изучены, вероятнее всего они выступают в качестве аллелогенов (Watson, 2003).

Среди выделенных веществ особого внимания заслуживают компоненты, обладающие антимикробной или противовирусной активностью: маноол (Овчинников, 1987), фенольные производные, бензальдегид, а также соединения проявляющие наряду с антимикробным также и фунгицидное действие: гексаналь, гексанол (Рощина, Рощина, 1989).

Следует отметить выявленную важную роль гексаналя в формировании механизмов защиты растений от внешних повреждений, включая защиту от растительоядных организмов (Fall et al., 1999; Arimura et al., 2009). Не подлежит сомнению активное участие в защитных и регулирующих реакциях

растений и других альдегидов (табл. 1) среди выявленных ЛНОС рдеста туполистного (Hu, 2008, Jüttner et al., 2010).

Синтезируемый рдестом сафраналь (RT = 23.01 мин) наряду с другими ЛНОС играет важную регулирующую роль в трофических цепях в водных экосистемах (Watson et al., 2009). Это вещество было также обнаружено среди метаболитов роголистника тёмно-зелёного и у цианобактерии *Microcystis aeruginosa* (Kützing) (Walsh et al., 1998). Сафраналь был выявлен и нами при исследовании эфирного масла *C. demersum*.

Установлено, что β -ионон и геранилацетон синтезируются и выделяются в окружающую среду красными и зелеными водорослями, по-видимому для контроля развития окружающих организмов в ходе аллелопатических взаимодействий (Juttner, 1979; DellaGreca et al., 2004). У рдеста туполистного выявлено пять соединений, относящихся к группе иононов (RT = 36.54, 38.39, 38.87, 40.73, 45.15 мин), из которых наибольшее значение имеет β -ионон (0.55–1.59% всех ЛНОС) (табл.1). Эти соединения могут, по-видимому, выполнять различные функции в водных и наземных растениях, в том числе защищать от ультрафиолетовой радиации (Lamikanra, Richard, 2002).

Разнообразный состав дитерпенов и их производных (табл. 1), выявленных в составе метаболитов рдеста туполистного, по-видимому, является исключительно важным. Изменчивость этих веществ по составу и количеству, возможно, говорит о специфичности их синтеза в зависимости от биологического окружения рдеста в водоеме и взаимоотношений вида с другими компонентами водной экосистемы. Например, *энт*-лабданы могут быть ответственны за аллелопатические взаимодействия подобно тому, как это было выявлено для *P. pectinatus* (Waridel et al., 2003). Эти же вещества, изолированные из *Ruppia maritima* L. и *P. natans* подавляли водоросли, коловраток и ракообразных (Cangiano et al., 2002).

Достаточно высока в эфирном масле рдеста туполистного была доля фталатов (рис. 14): 1.86 – 3.55%, увеличивающаяся к осени.

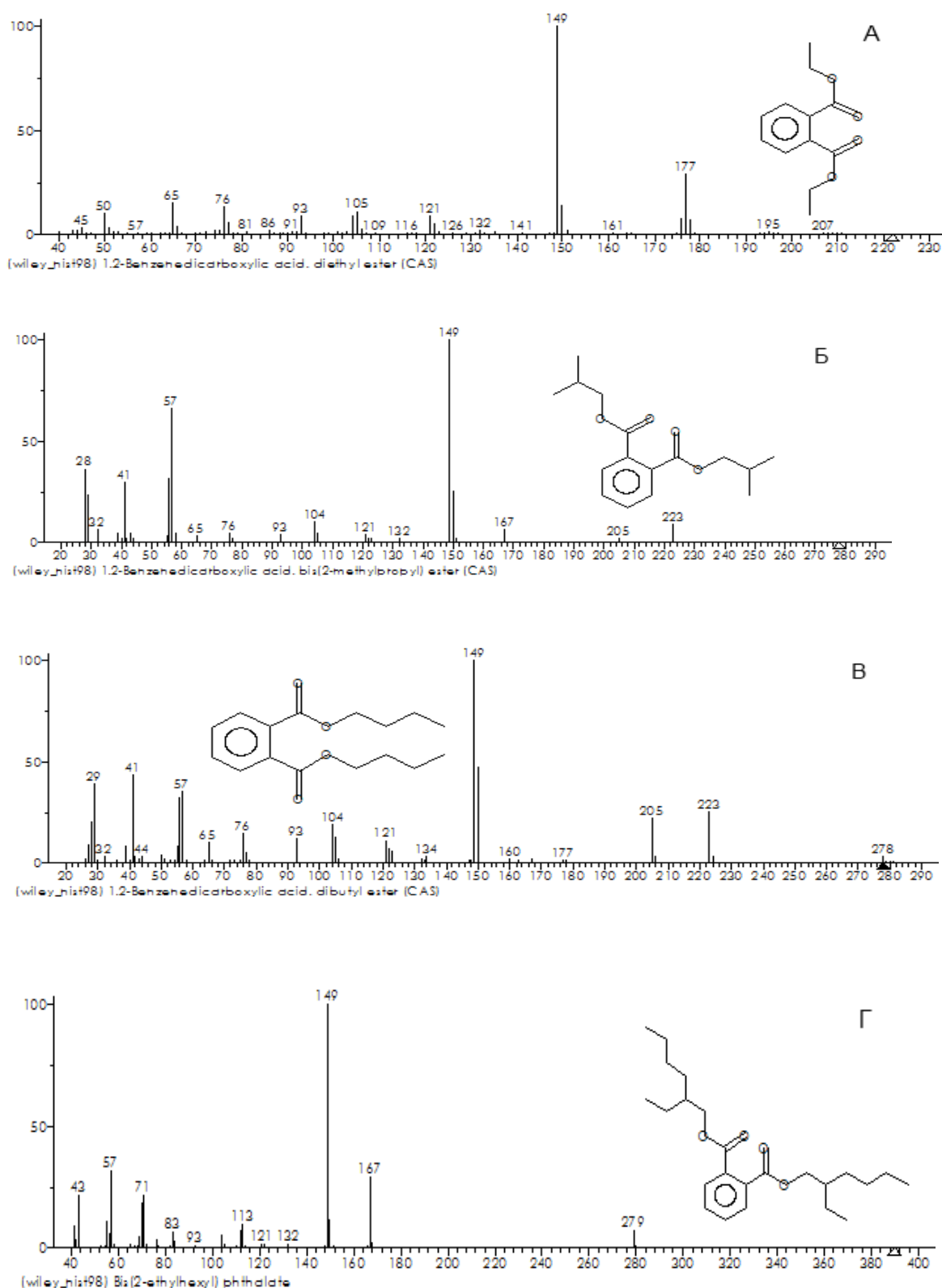


Рис. 14. Масс-спектры и структурные формулы фталатов, присутствующих в рдесте туполистном: а) диэтилфталат; б) диизобутилфталат; в) дибутилфталат; г) диэтилгексилфталат.

Фталаты, в подавляющем большинстве случаев, рассматриваются как загрязнители окружающей среды. Однако, имеются данные, показывающие, что актиномицеты, грибы и растения способны синтезировать фталаты, которые участвуют в аллелопатических взаимодействиях и выполняют защитные функции (Roy et al., 2006; Xuan et al., 2006).

Значительный интерес в составе синтезируемых растениями веществ представляют фитозкдистероиды, которые являются производными стерана (циклопентапергидрофенантрена) и играют исключительно важную роль в живой природе. В частности, зкдистероиды являются гормонами линьки и метаморфоза у ракообразных и насекомых. При поедании растений, содержащих фитозкдистероиды, членистоногие могут получать различные повреждения (метаболический стресс, преждевременная линька, потеря массы и т. д.) вплоть до их гибели, т.е. данные вещества выполняют активную защитную функцию (Dinan, 2001; Dinan et al., 2001; Тимофеев, 2006).

Однако, можно предположить, что часть продуцируемых растениями зкдистероидов может служить необходимым ресурсом и прекурсорами для синтеза необходимых гормонов у других организмов, потребителей этих растений (Miller, Heyland, 2010). В статье Dinan L. сообщается о медицинском значении фитозкдистероидов (Dinan, 2001).

У исследованного нами вида относительное содержание и концентрации производных стерана (вещества с RT = 55.55, 56.65, 58.31, 58.75, 59.88, 62.07, 62.18 мин) (табл. 1) зависели от стадии роста растения. Большая доля и концентрация соединений этой группы была отмечена для фазы начала вегетации. Наименьшие значения отмечены в период цветения, а в дальнейшем происходило их увеличение (табл. 4).

Наши данные согласуются с наблюдениями, показывающими, что наибольшие концентрации фитозкдистероидов наблюдаются у молодых растений или в их растущих частях независимо от типа местообитания (водные и наземные) (Ревина, Гуреева, 1985; Алексеева и др., 1998; Chadin et al., 2003),

что объясняет их наибольшую защищенность против растительноядных беспозвоночных (Jacobsen, Sandjensen, 1995).

Содержание фитоэксдистероидов у различных видов рода *Potamogeton* (*P. alpinus* Balb., *P. berchtoldii* Fieb., *P. compressus* L., *P. gramineus* L., *P. lucens* L., *P. natans* L., *P. pectinatus* L., *P. perfoliatus* L.) изучалось в работе (Chadin et al., 2003). Было показано, что наибольшие концентрации в вегетативных частях характерны для фазы плодоношения (выделялось две фазы: плодоношение и вегетация), у *P. gramineus* – 3.92 мкг/г сух.в. и у *P. natans* – 0.44 мкг/г сух.в. В наших образцах неизученного ранее *P. obtusifolius* суммарные концентрации производных стерана составляли от 2.6 до 12.8 мкг/г сух.в. (табл. 4). Данные результаты показывают, что по этим компонентам ЛНОС *P. obtusifolius* занимает, по-видимому, лидирующее положение среди рдестов.

Таблица 4.

Число веществ - производных циклопентанпергидрофенантрена (ПЦ), доля (% от общего количества ЛНОС) и суммарная концентрация (мкг/г сух.в.) ПЦ и манолола у *P. obtusifolius* в различные фазы вегетации (I – начало вегетации; II – цветение; III – начало плодоношения; IV – вегетация после плодоношения).

Показатель	I	II	III	IV
Число веществ ПЦ	5	5	5	6
ПЦ, %	3.21	1.7	1.91	2.39
ПЦ, мкг/г сух.в.	12.5	2.64	6.1	12.8
маноол, %	43.97	49.24	62.58	66.01
маноол, мкг/г сух.в.	169	76	207	356

Исключительного внимания заслуживает маноол (рис.11), один из главных компонентов эфирного масла рдеста туполистного (до 66.01%) и впервые выделенный у высших водных растений (табл. 1, 4). Его

экологическую роль в водных биоценозах необходимо тщательно изучить, однако, можно предположить, что она лежит в сфере защитных функций растения, подобно другим терпеновым веществам. Манноол активно продуцировался рдестом в окружающую среду. По нашим данным, его концентрация в воде внутри зарослей *P. obtusifolius* в разные сроки вегетации составляла от 0.012 мг/л до 2.040 мг/л. (рис. 15).

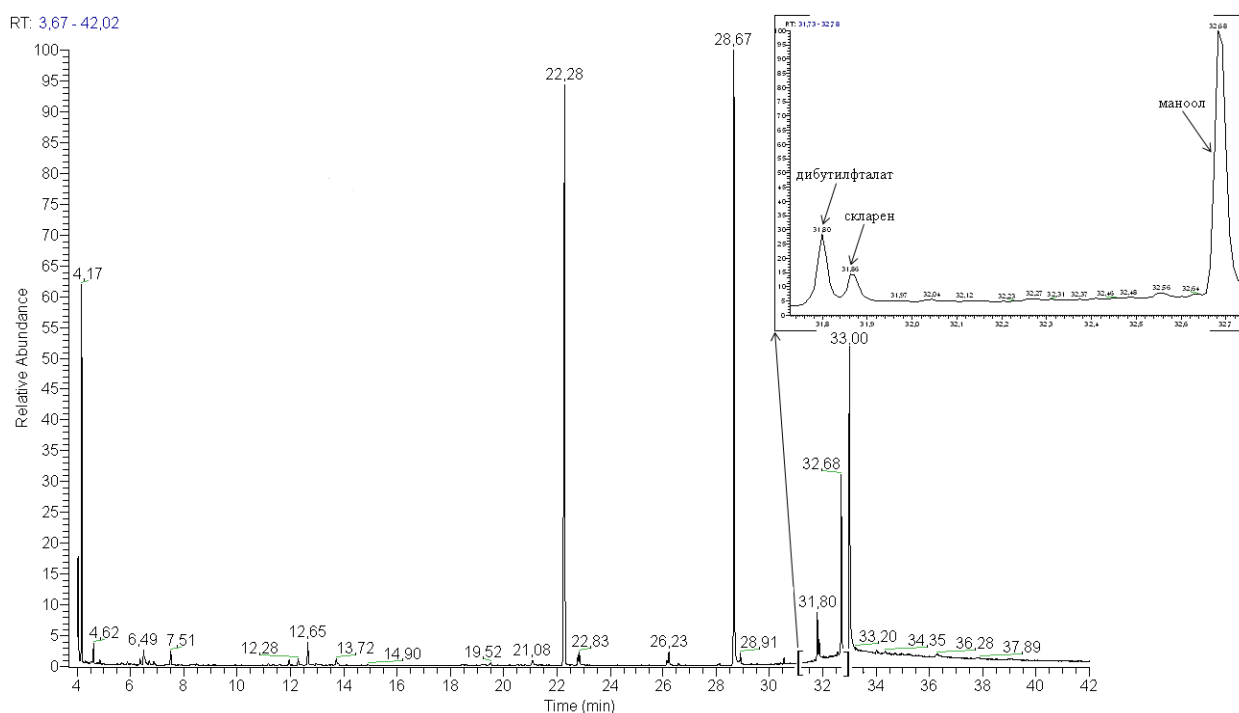


Рис. 15. Общий вид хроматограммы воды Пейзажного пруда (заросли рдеста туполистного).

Второй по содержанию (до 25.16%) среди ЛНОС рдеста компонент – биформен (рис. 11). Ранее это вещество не было указано для водных растений, но обнаруживалось в наземных, где его содержание в эфирном масле было ниже, чем у *P. obtusifolius*: *Micromeria cilicica* Hausskn. ex P. H. Davis и *M. juliana* (L.) Bentham ex Reichb. – 1.15% (Öztürk, 2008), *Cryptomeria japonica* D. Don – 0.1-3.9% (Ho et al., 2010), *Cryptomeria fortunei* Hooibrenk ex Otto et Dietr. –

0.75% (Xie et al., 2012); *Pinus densiflora* Siebold et Zucc. – 0.1 - 0.2% (Kim, Shin, 2005); *Juniperus macropoda* Boiss. – 7.7% (Srivastava et al., 2005); *Stachys plumosa* Griseb. – 3.0% (Petrović et al., 2006). Биформен выявлен также у *Halocarpus kirkii* (F.Muell. ex Parl.) Quinn (*Dacrydium kirkii* (Parl.)) (Fujita, 1970) и видов рода *Araucaria* (Pietsch, König, 2000) без указания концентрации.

Биформен, так же, как и маноол, активно выделялся рдестом в окружающую среду, но при выделении из растений трансформировался в скларен (рис.16), его содержание в воде было 0.039 - 0.094 мг/л.

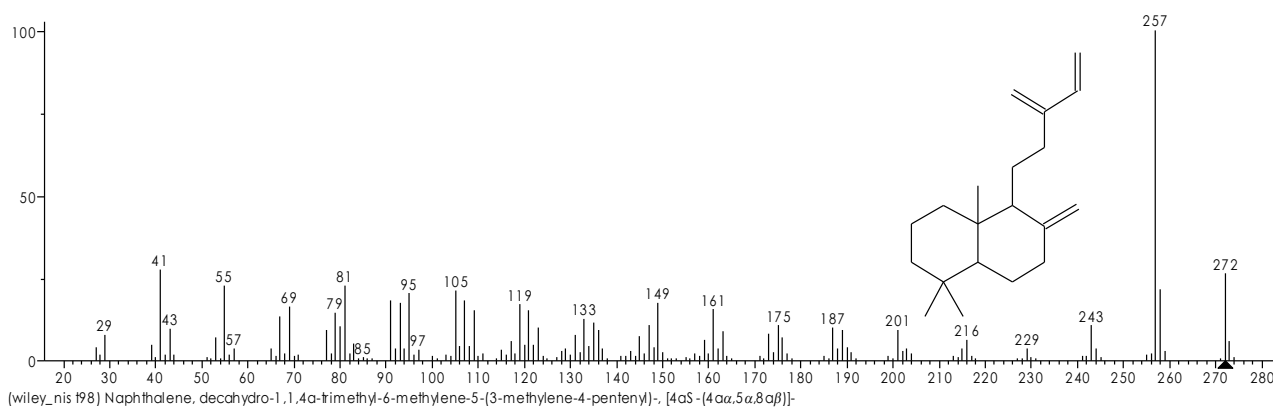


Рис. 16. Масс-спектр и структурная формула скларена.

Таким образом, качественный состав и количественное содержание эфирного масла в рдесте туполистном изменяется не только в онтогенезе, но и зависит от условий обитания растений. Интересно, что среди ЛНОС данного растения обнаружены ценные для медицины и парфюмерии вещества.

ГЛАВА 4. КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ЭФИРНОГО МАСЛА РОГОЛИСТНИКА ТЁМНО-ЗЕЛЁНОГО

Качественный состав и количественное содержание эфирных масел *C. demersum*, произрастающего на территории России, изучен в двух рядом расположенных прудах Парка Победы (Санкт-Петербург) – Квадратном и Фонтанном. Сбор исследуемых растений производился в начале июня (начало вегетации), середине июля (середина вегетации) и конце августа (продолжение вегетации) 2009 и 2010 годов.

Место произрастания роголистника погружённого в Квадратном пруду характеризовалось высокой степенью затенения (заросли кустов и деревьев по берегу, а также интенсивное развитие многокоренника обыкновенного на поверхности пруда), поэтому *C. demersum* размножался только вегетативным способом, фаз цветения и плодоношения отмечено не было.

По данным Русанова А. Г. заросли роголистника погружённого занимали 27% площади дна Квадратных прудов.

Во втором пруду (пр. Фонтанный) роголистник произрастал при более высоком уровне освещения, у растений наблюдались все фазы вегетации. Заросли *C. demersum* составляли 48% от общей площади зарослей всех макрофитов в этом пруду, на долю которых приходилось 63% площади дна.

В связи с ограниченным объемом диссертации полный компонентный состав эфирных масел приведен только для трёх образцов роголистника произраставшего в условиях повышенного затенения (табл. 5) и одного образца *C. demersum* вегетировавшего при высоком уровне освещения и собранного конце июля - начало фазы плодоношения (табл. 6). Пример общего вида хроматограммы эфирного масла *C. demersum* L. приведен для роголистника из Квадратного пруда, середина вегетации (рис. 17).

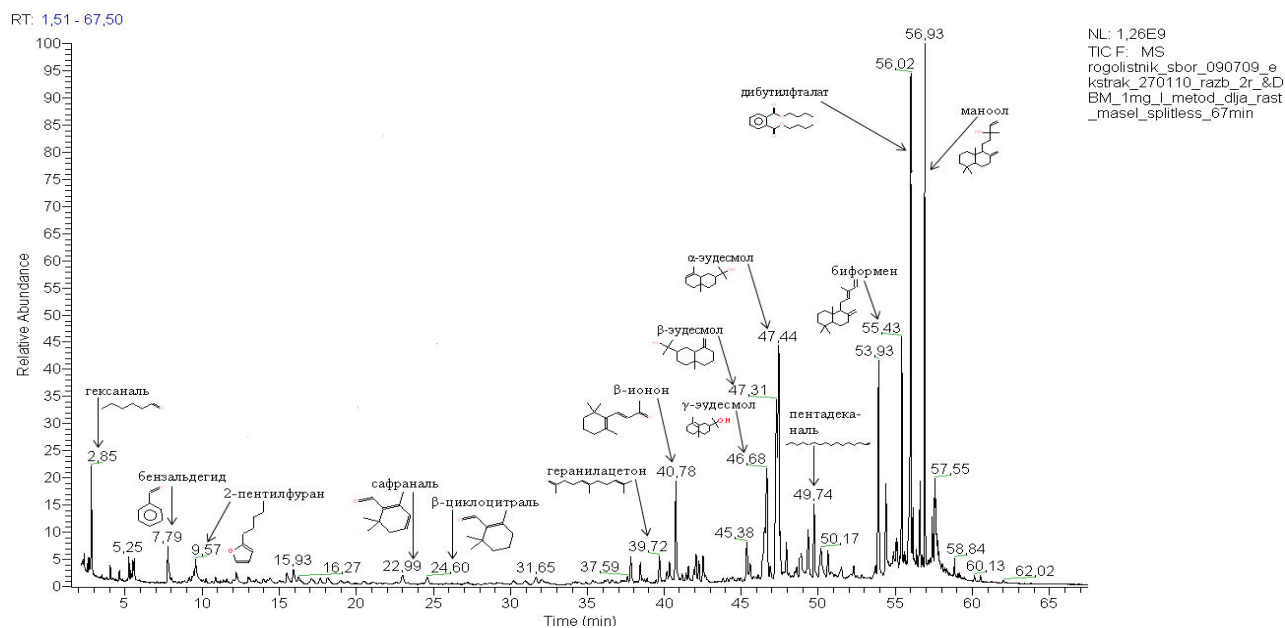


Рис. 17. Общий вид хроматограммы эфирного масла *C. demersum* L. из Квадратного пруда с указанием некоторых наиболее важных соединений, середина вегетации.

Результаты анализа компонентного состава ЛНОС эфирного масла роголистника, как и в случае с *P. obtusifolius*, показали наличие большого количества соединений, принадлежащих к различным классам химических веществ (табл. 5 — 7).

Таблица 5.

Компонентный состав эфирного масла *C. demersum* в различные фазы вегетации (I – начало вегетации; II – середина вегетации; III – продолжение вегетации) (пруд Квадратный, Санкт-Петербург) (RT – время удерживания, мин; ИК – индекс Ковача).

№	Компонент	Формула	RT	ИК	Содержание компонента в эфирном масле (%)		
					I	II	III
1	3-метилпентан	C_6H_{14}	2.37	790	-	0.27	-
2	2-метилбутан-1-ол	$C_5H_{12}O$	2.42	792	-	-	0.53

3	3-гексанон	$C_6H_{12}O$	2.50	795	0.32	0.22	0.2
4	2-гексанон	$C_6H_{12}O$	2.57	797	-	0.22	0.44
5	1-метилциклопентан-1-ол	$C_6H_{12}O$	2.60	798	0.41	-	-
6	гексаналь	$C_6H_{12}O$	2.8	804	1.80	2.17 (5.4)	6.33
7	2-метилпиразин	$C_5H_6N_2$	3.37	826	-	0.03	-
8	фуран-2-карбальдегид; [фурфурол]	$C_5H_4O_2$	3.42	828	-	0.08	0.28
9	пропан-1,2-дитиол	$C_3H_8S_2$	3.53	832	-	0.02	0.06
10	(3E)-2,6-диметилгепта-1,3,5-триен	C_9H_{14}	3.66	837	-	0.03	-
11	4-гидрокси-4-метилпентан-2-он	$C_6H_{12}O_2$	3.70	838	-	0.05	0.08
12	1,1,3,3-тетраметилмочевина	$C_5H_{12}N_2O$	3.76	840	0.06	0.01	-
13	(E)-гекс-3-ен-2-он	$C_6H_{10}O$	3.87	844	-	-	0.01
14	1,1,2-триметилциклогексан	C_9H_{18}	3.91	846	-	-	0.03
15	2,4,5-триметил-1,3-оксазол	C_6H_9NO	4.18	855	-	0.03	-
16	(E)-гекс-2-ен-1-ол	$C_6H_{12}O$	4.20	856	0.38	0.32	0.50
17	гексан-3-тиол	$C_6H_{14}S$	4.36	862	0.20	0.04	0.12
18	1,3-диметилбензол	C_8H_{10}	4.46	866	-	0.04	0.06
19	1-гексанол	$C_6H_{14}O$	4.68	874	0.17	0.34 (1.9)	1.75
20	неидентифицированное m/z 115 [M^+], 54 (100)		4.93	883	-	0.04	-
21	2-метилциклопентанон-оксим	$C_6H_{11}NO$	4.93	883	-	-	0.28
22	3-гептанон	$C_8H_{16}O$	5.13	890	-	0.03	-
23	неидентифицированное m/z 117 [M^+], 70 (100)		5.36	898	-	0.26	-
24	2-гептанон	$C_7H_{14}O$	5.38	899	0.70	0.65 (0.4)	1.73
25	(E)-гепт-4-еналь	$C_7H_{12}O$	5.66	905	0.59	0.24	0.89

26	гептаналь	$C_7H_{14}O$	5.75	907	0.69	0.26 (1.7)	0.95
27	2-этилпиридин	C_7H_9N	5.88	910	-	0.02	-
28	3,5-диметилциклогексен	C_8H_{14}	5.96	912	-	-	0.23
29	оксолан-2-илметанол	$C_5H_{10}O_2$	6.13	916	-	-	0.11
30	(2Z,4Z)-гепта-2,4-диеналь	C_6H_8O	6.48	923	1.42	0.04	-
31	2-метил-5-изопропенил-фуран	$C_8H_{10}O$	6.89	932	-	0.03	0.10
32	(E)-гепт-3-ен-2-он	$C_7H_{12}O$	7.11	937	0.12	0.03	0.07
33	1-нитропентан	$C_5H_{11}NO_2$	7.31	941	-	0.01	0.02
34	5-метилфуран-2-карбальдегид; [метилфурфурол]	$C_6H_6O_2$	7.53	946	-	0.01	0.12
35	бензальдегид	C_7H_6O	7.83	952	-	1.28	1.81
36	диметил трисульфид	$C_2H_6S_3$	8.04	957	-	0.06	0.37
37	6-метилгепт-5-ен-2-он, (изомер)	$C_8H_{14}O$	8.49	967	-	0.05	-
38	(5S)-5-метилциклогекс-2-ен-1-он	$C_7H_{10}O$	8.64	970	-	0.02	0.42
39	гептан-1-ол	$C_7H_{16}O$	8.81	973	-	0.03	0.14
40	оксонан	$C_8H_{16}O$	8.84	974	-	0.05	-
41	2-пропилтиофен	$C_7H_{10}S$	8.91	976	-	-	0.05
42	неидентифицированное m/z 136 [M^+], 64 (100)		9.06	979	-	0.02	-
43	окт-1-ен-3-ол	$C_8H_{16}O$	9.16	981	0.02	0.15	0.55
44	2-метилоктан-3-он	$C_9H_{18}O$	9.32	984	0.28	-	-
45	2,4,5-триметил-2,5-дигидро-1,3-тиазол	$C_6H_{11}NS$	9.36	985	-	0.15	-
46	6-метилгепт-5-ен-2-он	$C_8H_{14}O$	9.47	988	0.31	0.26	1.60
47	2-пентилфуран	$C_9H_{14}O$	9.59	990	0.50	0.49	1.31
48	октан-2-он	$C_8H_{16}O$	9.67	992	-	-	0.46
49	4-метилгепт-1-ен-4-ил ацетат	$C_{10}H_{18}O_2$	9.84	996	0.07	-	-

50	цис-2-(2-пентенил)фуран	$C_9H_{12}O$	10.09	1001	-	0.07	0.23
51	<i>октаналь</i>	$C_8H_{16}O$	10.26	1004	0.08	0.11 (0.1)	0.22
52	(2E,4E)-гепта-2,4-диеналь	$C_7H_{10}O$	10.52	1008	-	0.07	0.02
53	(2E,4E)-нона-2,4-диен	C_9H_{16}	10.66	1010	-	-	0.10
54	2,4,6-триметилгепта-1,6-диен-4-ол	$C_{10}H_{18}O$	10.84	1013	-	-	0.03
55	2-метил-2-пропан-2-ил-1,3-оксатиолан	$C_7H_{14}OS$	10.91	1015	0.17	0.19	0.01
56	1,3-диоксолан-4-он, 2-(1,1-диметилэтил)-5-метилен-, (S)-	$C_8H_{12}O_3$	11.01	1016	-	0.02	-
57	4,4-диметоксибутан нитрил	$C_6H_{11}NO_2$	11.21	1020	-	0.05	-
58	неидентифицированное m/z 138 [M^+], 98 (100)		11.24	1020	-	-	0.04
59	4,7,7-триметил-8-оксабицикло[2.2.2]октан; [1,8-цинеол]	$C_{10}H_{18}O$	11.34	1022	0.81	0.10	-
60	4-метилциклогекс-3-ен-1-карбальдегид	$C_8H_{12}O$	11.49	1024	-	-	0.08
61	2,2,6-триметилциклогексан-1-он	$C_9H_{16}O$	11.60	1026	0.22	0.12 (0.3)	0.42
62	2-гидроксибензальдегид	$C_7H_6O_2$	12	1033	0.07	0.09	0.05
63	<i>2-фенилацетальдегид</i>	C_8H_8O	12.30	1038	0.30	0.65 (0.8)	0.74
64	(3E,5E)-окта-3,5-диен-2-ол	$C_8H_{14}O$	12.30	1038	0.13	-	-
65	1-(4-метилциклогекс-3-ен-1-ил)этанон	$C_9H_{14}O$	12.80	1046	-	0.06	0.10
66	7,7-диметилбицикло [2.2.1]гептан-3-он	$C_9H_{12}D_2O$	12.99	1049	-	0.23	0.54
67	2,6,6-триметилциклогекс-2-ен-1-он	$C_9H_{14}O$	13.09	1051	-	0.23	-

68	2,5-диметил-3-этилфуран	C ₈ H ₁₂ O	13.24	1054	-	0.07	-
69	(E)-окт-2-еналь	C ₈ H ₁₄ O	13.35	1055	0.07	0.08	0.15
70	2-метилбензальдегид	C ₈ H ₈ O	13.52	1058	0.21	0.13	0.20
71	(2E)-N-изопропил-2-бутенамид	C ₇ H ₁₃ NO	14.02	1067	0.05	0.17	0.10
72	3,5-октадиен-2-он	C ₈ H ₁₂ O	14.20	1070	0.06	0.12 (0.2)	0.38
73	3-этил-2-метилгепт-2-ен	C ₁₀ H ₂₀	14.40	1073	0.22	0.30	0.48
74	1-метил сульфонил пентан-3-он	C ₆ H ₁₂ OS	15.05	1084	0.20	0.15	0.20
75	(1R,4S)-1-метил-4-пропан-2-илциклогекс-2-ен-1-ол	C ₁₀ H ₁₈ O	15.25	1087	-	-	0.17
76	3,5-октадиен-2-он (изомер)	C₈H₁₂O	15.5	1091	0.45	0.60	1.61
77	2,6-диметилциклогексан-1-ол	C₈H₁₆O	15.93	1098	0.48	0.62 (2.9)	1.14
78	1-(2-метилциклопентен-1-ил)этанон	C ₈ H ₁₂ O	16.27	1103	0.53	0.34	0.72
79	2,6,6-триметилциклогекс-2-ен-1-карбальдегид; [α-циклоцитраль]	C ₁₀ H ₁₆ O	16.45	1105	-	-	0.21
80	3,5,5-триметилциклогекс-2-ен-1-он; [изофорон]	C ₉ H ₁₄ O	16.91	1111	-	0.04 (0.6)	0.07
81	3,5-диметил-1,2,4-тритиолан	C ₄ H ₈ S ₃	17.10	1114	0.54	0.64	0.98
82	1H-пиримидин-2,4-дион; [урацил]	C ₄ H ₄ N ₂ O ₂	17.18	1115	-	0.15	-
83	циклогексан-1,2-дион	C ₆ H ₈ O ₂	18.18	1127	0.23	0.45	-
84	циклодекан	C ₁₀ H ₂₀	18.21	1128	-	-	0.35
85	2,6,6-триметилциклогекс-2-ен-1,4-дион; [кетозофорон]	C ₉ H ₁₂ O ₂	19	1138	0.12	0.32 (0.7)	0.35
86	(1S,2R,3S,6R)-3,7,7-триметилбицикло [4.1.0]гептан-2-ол	C ₁₀ H ₁₈ O	19.38	1143	0.03	-	-

87	5-метил-2-пропан-2-илциклогексан-1-он	$C_{10}H_{15}D_3O$	19.40	1143	0.02	0.25	0.33
88	N-[(3E)-4-циано-2-метил-3-бутен-2-ил]ацетамид	$C_8H_{12}N_2O$	19.88	1149	-	-	0.09
89	(E)-нон-2-еналь	$C_9H_{16}O$	20.53	1157	0.11	0.2	0.33
90	4-этилбензальдегид	$C_9H_{10}O$	21.06	1164	0.06	0.11 (0.3)	-
91	4-метил-1-пропан-2-илциклогекс-3-ен-1-ол; [4-терпинеол]	$C_{10}H_{18}O$	21.29	1167	0.03	-	-
92	1-аминоциклогептан-1-карбоновая кислота	$C_8H_{15}NO_2$	21.53	1170	-	0.07	-
93	1-(3-метилфенил)этанон	$C_9H_{10}O$	21.94	1175	0.04	0.07	0.15
94	2-(4-метилциклогекс-3-ен-1-ил)пропан-2-ол; [α-терпинеол]	$C_{10}H_{18}O$	22.52	1183	0.22	-	-
95	2,6,6-триметилциклогекса-1,3-диен-1-карбальдегид; [дегидро-β-циклоцитраль; сафраналь]	$C_{10}H_{14}O$	23.01	1189	0.45	0.71 (0.3)	1.53
96	декан-2-он	$C_{10}H_{20}O$	23.36	1193	-	0.08	0.11
97	N-метил-n-пропилциклогексанамин	$C_{10}H_{21}N$	23.84	1199	0.02	-	-
98	деканаль	$C_{10}H_{20}O$	24.24	1205	-	0.06 (0.2)	0.02
99	2,6,6-триметилциклогексен-1-карбальдегид; [β-циклоцитраль]	$C_{10}H_{16}O$	24.59	1209	0.43	0.38 (0.5)	0.74
100	3-этил-5-метил-1,2,4-тритиолан	$C_5H_{10}S_3$	25.19	1217	0.03	0.03	0.07
101	изохинолин	C_9H_7N	25.79	1225	0.01	-	-
102	неидентифицированное m/z 171 [M^+], 114 (100)		25.85	1226	-	-	0.07

103	5-метил-2-пропан-2-илциклогекс-2-ен-1-он	C ₁₀ H ₁₆ O	26.59	1235	-	0.07	0.07
104	2-(2,6,6-триметилциклогексен-1-ил)ацетальдегид	C ₁₁ H ₁₈ O	27.22	1244	0.14	0.18	0.34
105	5-пентил-3H-фуран-2-он	C ₉ H ₁₄ O ₂	28.33	1258	0.02	0.06 (0.2)	0.09
106	неидентифицированное <i>m/z</i> 151? [M ⁺], 139 (100)		28.67	1263	0.10	0.13	0.07
107	1-метилнафталин	C ₁₁ H ₁₀	29.13	1269	0.06	0.11	0.21
108	2-метил-1,3-бензотиазол	C ₈ H ₇ NS	29.48	1273	0.04	-	-
109	неидентифицированное <i>m/z</i> 177 [M ⁺], 117 (100)		30.18	1282	0.12	0.24	0.09
110	3,6-диметил-5,6,7,7a-тетрагидро-4H-1-бензофуран-2-он; [минтлактон; минтфуранон]	C ₁₀ H ₁₄ O ₂	30.91	1292	0.06	0.07 (0.2)	0.20
111	ундекан-2-он	C ₁₁ H ₂₂ O	30.95	1292	0.02	0.20	0.03
112	2-метил-5-пропан-2-илфенол; [карвакрол]	C ₁₀ H ₁₄ O	31.11	1294	0.02	-	-
113	6-гидрокси-4,4-диметил-3H-хромен-2-он	C₁₁H₁₂O₃	32.01	1308	0.21	0.54	1.93
114	неидентифицированное <i>m/z</i> 154 [M ⁺], 154 (100)		33.74	1336	0.14	-	-
115	2,3,6,7,8,8a-гексагидропироло[1,2-a]пирозин-1,4-дион	C ₇ H ₁₀ N ₂ O ₂	33.74	1336	-	0.05	-
116	2,4,6-триметилбензальдегид	C ₁₀ H ₁₂ O	34.06	1342	0.05	0.11	0.21
117	1,1,6-триметил-2H-нафталин	C ₁₃ H ₁₆	34.09	1342	-	0.08	0.08
118	4,4,7-триметил-2,3-дигидро-1H-нафталин; [α-ионен]	C ₁₃ H ₁₈	34.23	1344	0.02	0.11	0.08

119	(Е)-ундец-3-ен-он	$C_{11}H_{20}O$	34.33	1346	-	-	0.07
120	неидентифицированное m/z 154 [M^+], 154 (100)		34.58	1350	0.29	0.02	0.02
121	(Е)-4-фенилбут-3-ен-2-он	$C_{10}H_{10}O$	34.86	1355	0.06	0.05	0.05
122	дигидро-5-пентил-2(3Н)- фуранон	$C_9H_{16}O_2$	35.31	1362	-	0.03	0.09
123	1,3-диметил-8-(1- метилэтил)трицикло[4.4.0.2,7] дец-3-ен; [α -иланген; α -копаен]	$C_{15}H_{24}$	35.32	1362	0.40	0.14	0.02
124	неидентифицированное m/z 194 [M^+], 154 (100)		35.52	1366	0.13	0.10	0.09
125	3-метил-5-бутил-1,2,4- трителиан	$C_7H_{14}S_3$	35.89	1372	-	0.05	-
126	(Z)-2-бутилокт-2-еналь	$C_{12}H_{22}O$	36.07	1375	-	-	0.30
127	1,3,4,5,6,7-гексагидро-1,1,5,5- тетраметил-2Н-2,4- метанонафталин; [изолонгифолен]	$C_{15}H_{24}$	36.07	1375	0.09	-	-
128	[3-(ацетоксиметил)-3,4- диметилпентан-2-ил] ацетат	$C_{12}H_{22}O_4$	36.24	1377	0.06	0.20	0.22
129	(4Z)-4-(2,6,6-триметилцикло- гекс-2-ен-1-илиден)бутан-2- он; [ретроионон]	$C_{13}H_{20}O$	36.54	1382	0.11	0.15	0.32
130	2,6,10-триметилундец-9- еналь	$C_{14}H_{26}O$	36.84	1387	-	0.05	0.05
131	3-метил-2-(2-пентен-1-ил)-2- циклопентен-1-он; [жасмон]	$C_{11}H_{16}O$	37.19	1393	-	0.14	0.34
132	додекан-2-он	$C_{12}H_{24}O$	37.31	1395	0.15	0.11	0.10
133	<i>тетрадекан</i>	$C_{14}H_{30}$	37.57	1400	0.42	0.22 (0.2)	0.29

134	6,10-диметилундекан-2-он	$C_{13}H_{26}O$	37.77	1404	0.35	0.87 (0.6)	0.62
135	[(2S,7aR)-4,4,7a-триметил-2,4,5,6,7,7a-гексагидро-1-бензофуран-2-ил]метанол	$C_{12}H_{20}O_2$	38.05	1411	0.02	0.03	0.05
136	(3E)-4-(2,6,6-триметилциклогекс-2-ен-1-ил)бут-3-ен-2-он; [α -ионон]	$C_{13}H_{20}O$	38.39	1419	0.33	0.56 (0.6)	0.74
137	(E)-4-(2,4,4-триметилциклогекс-1,5-диен-1-ил)бут-3-ен-2-он	$C_{13}H_{18}O$	38.54	1423	-	-	0.41
138	6-метил-6-(5-метилфуран-2-ил)гептан-2-он	$C_{13}H_{20}O_2$	38.67	1426	0.10	0.12	0.38
139	4-(2,6,6-триметил-1-циклогексенил)бутан-2-он; [дигидро- β -ионон]	$C_{13}H_{22}O$	38.85	1431	0.20	0.15	0.10
140	неидентифицированное m/z 224 [M^+], 122 (100)		38.98	1434	-	-	0.11
141	(1E,4E,8E)-2,6,6,9-тетраметилциклоундека-1,4,8-триен; [α -гумулен; α -кариофиллен]	$C_{15}H_{24}$	39.05	1436	0.16	-	-
142	(5Z)-6,10-диметилундека-5,9-диен-2-он; [геранилацетон]	$C_{13}H_{22}O$	39.7	1452	0.46	0.80 (0.5)	0.69
143	(E)-1-(2,6,6-триметилциклогексен-1-ил)бут-2-ен-1-он; [β -дамаскон]	$C_{13}H_{20}O$	39.87	1456	-	0.05	-
144	7,10-диметилбицикло [5.4.0]ундец-10-ен-2-он	$C_{13}H_{20}O$	39.90	1457	-	-	0.12
145	1,2-дигидроаценафтилен	$C_{12}H_{10}$	39.90	1457	0.07	-	-

146	5,8а-диметил-3-пропан-2-ил- 2,3,4,4а,5,6,7,8-октагидро-1Н- нафталин; [селинан]	$C_{15}H_{28}$	40.17	1464	0.24	0.35	0.34
147	4,7-диметил-1-пропан-2-ил- 1,2,4а,5,6,8а- гексагидронафталин; [муурулен]	$C_{15}H_{24}$	40.35	1468	-	0.59	0.14
148	(E)-4-(2,6,6- триметилциклогексен-1- ил)бут-3-ен-2-он; [β-ионон]	$C_{13}H_{20}O$	40.75	1478	2.07	2.75 (7.6)	4.42
149	дибензофуран	$C_{12}H_8O$	41.17	1489	0.24	0.18	0.16
150	тридекан-2-он	$C_{13}H_{26}O$	41.42	1495	0.33	0.19	0.14
151	пентадекан	$C_{15}H_{32}$	41.58	1500	0.24	0.40	0.43
152	2,6-дитерт-бутил-4- метилфенол; [ионол]	$C_{15}H_{24}O$	41.78	1504	-	-	0.21
153	1,6-диметил-4-пропан-2-ил- 1,2,3,4-тетрагидронафталин; [каламенен]	$C_{15}H_{22}$	41.92	1507	0.28	0.32	0.30
154	4-(2-метил-3- оксоциклогексил)бутаналь	$C_{11}H_{18}O_2$	42.03	1509	0.70	0.74	0.70
155	8а-метил-3,4,4а,5,6,7- гексагидро-2Н-нафталин-1,8- дион	$C_{11}H_{16}O_2$	42.23	1514	0.35	0.60	0.84
156	2-[(2R,4R,8aR)4а,8- диметил-2,3,4,5,6,8а- тетрагидро-1Н-нафталин-2- ил]пропан-2-ол	$C_{15}H_{24}O$	42.50	1520	1.33	0.81	0.18
157	(1S)-4,7-диметил-1-пропан-2- ил-1,2-дигидронафталин [α-калакорен]	$C_{15}H_{20}$	42.67	1524	0.47	0.23	0.31
158	неидентифицированное m/z ? [M^+], 123 (100)		43.56	1545	0.03	0.01	0.01

159	9Н-флуорен	$C_{13}H_{10}$	43.80	1550	0.14	0.12	0.02
160	(3S,6Z)-3,7,11- триметилдодека-1,6,10- триен-3-ол	$C_{15}H_{26}O$	44.05	1556	0.05	0.12	0.08
161	1R,4S)-8-метокси-1,6- диметил-4-(1'-метилэтил)- 1,2,3,4-тетрагидронафталин	$C_{16}H_{24}O$	44.23	1560	-	-	0.04
162	4,5-эпокси-4,12,12-триметил- 8-метиленбицикло[8.2.0]- додекан; [кариофиллен оксид]	$C_{15}H_{24}O$	44.30	1561	0.07	0.11	-
163	3,7,11-триметилдодекан-1-ол	$C_{15}H_{32}O$	44.41	1564	0.21	0.14	0.04
164	(E)-2-метил-4-(2,6,6- триметилциклогексен-1- ил)бут-2-еналь	$C_{14}H_{22}O$	44.76	1572	0.07	0.11	0.22
165	(1S,4S)-1,6-диметил-4- пропан-2-ил-3,4,4а,7,8,8а- гексагидро-2Н-нафталин-1- ол; [δ-кадиол]	$C_{15}H_{26}O$	44.95	1576	0.10	0.13	-
166	(3E,5E)-6,10-диметилундека- 3,5,9-триен-2-он; [псевдоионон]	$C_{13}H_{20}O$	45.16	1581	-	0.03	0.06
167	2-(6,10- диметилспиро[4.5]дец-9-ен- 3-ил)пропан-2-ол; [агароспирол]	$C_{15}H_{26}O$	45.31	1585	2.52	1.34	0.11
168	<i>[2,4,4-триметил-3-(2- метилпропаноилокси)пент ил] 2-метилпропаноат</i>	$C_{16}H_{30}O_4$	<i>45.50</i>	<i>1589</i>	<i>1.15</i>	<i>0.58 (0.2)</i>	<i>0.09</i>
169	тетрадекан-2-он	$C_{14}H_{28}O$	45.76	1595	-	-	0.07
170	гексадекан	$C_{16}H_{34}$	45.88	1600	-	-	0.24

171	1,4а-диметил-7-пропан-2-илиден-3,4,5,6,8,8а-гексагидро-2Н-нафталин-1-ол	$C_{15}H_{26}O$	45.93	1601	0.06	-	-
172	5,6,7,8-тетраметил-1,2,3,4-тетрагидронафталин	$C_{14}H_{20}$	46.04	1602	0.07	0.15	0.09
173	2-[(3S,5R,8S)-3,8-диметил-1,2,3,4,5,6,7,8-октагидроазулен-5-ил]пропан-2-ол; [гуайол]	$C_{15}H_{26}O$	46.53	1616	2.53	1.89	-
174	2-[(2R,4aS)-4а,8-диметил-2,3,4,5,6,7-гексагидро-1Н-нафталин-2-ил]пропан-2-ол; [γ-эудесмол]	$C_{15}H_{26}O$	46.68	1617	5.69	3.81	0.47
175	2-(6,10-диметилспиро[4.5]дец-9-ен-3-ил)пропан-2-ол; [агароспирол] (изомер)	$C_{15}H_{26}O$	46.88	1627	-	0.36	0.05
176	2-[(2R,4aR,8aS)-4а-метил-8-метилен-1,2,3,4,5,6,7,8а-октагидронафталин-2-ил]пропан-2-ол; [β-эудесмол]	$C_{15}H_{26}O$	47.29	1639	10.33	6.91	0.65
177	2-[(2R,4aR,8aR)-4а,8-диметил-2,3,4,5,6,8а-гексагидро-1Н-нафталин-2-ил]пропан-2-ол; [α-эудесмол]	$C_{15}H_{26}O$	47.44	1643	13.34	7.03	0.63
178	2-(4а,8-диметил-2,3,4,5,6,7,8,8а-октагидро-1Н-нафталин-2-ил)пропан-2-ол; [дигидро-β-эудесмол]	$C_{15}H_{28}O$	47.54	1646	-	0.91	0.43

179	неидентифицированное <i>m/z</i> 224 [M ⁺], 81 (100)		47.66	1650	-	-	0.04
180	2-(3,8-диметил- 1,2,3,3а,4,5,6,7- октагидроазулен-5- ил)пропан-2-ол; [булнесол]	C₁₅H₂₆O	47.88	1656	1.93	0.91	0.07
181	1,6-диметил-4-пропан-2-ил- нафталин	C ₁₅ H ₁₈	48.13	1663	-	0.11	0.10
182	неидентифицированное <i>m/z</i> ? [M ⁺], 148 (100)		48.26	1667	-	-	0.08
183	[(2E)-3,7-диметилокта-2,6- диенил] 3-метилбутаноат [геранилизовалерианат]	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	48.44	1673	-	0.13	0.13
184	2-тетрадецил оксиран	C ₁₆ H ₃₂ O	48.56	1676	-	0.25	0.34
185	тетрадекан-1-ол	C ₁₄ H ₃₀ O	48.86	1685	-	0.46	0.23
186	1-бутил-3-(2-хлор-4,6- диметилпиридин-3-ил)уреа	C ₁₂ H ₁₈ ClN ₃ O	48.91	1686	-	0.88	-
187	(E)-гептадец-3-ен	C ₁₇ H ₃₄	49.16	1694	-	-	0.37
188	<i>гептадекан</i>	<i>C₁₇H₃₆</i>	<i>49.32</i>	<i>1700</i>	<i>0.91</i>	<i>1.50 (0.9)</i>	<i>1.70</i>
189	<i>пентадеканаль</i>	<i>C₁₅H₃₀O</i>	<i>49.74</i>	<i>1710</i>	<i>1.69</i>	<i>1.55 (3.3)</i>	<i>1.38</i>
190	5,5-диметил-2-пропан-2-ил- циклогексан-1-карбоновая кислота	C₁₂H₂₂O₂	50.16	1727	0.63	1.30	0.41
191	1,2,3,4-тетраметокси-5-проп- 2-енилбензол	C ₁₃ H ₁₈ O ₄	50.26	1730	-	-	0.39
192	фенантрен	C ₁₄ H ₁₀	50.59	1741	0.91	0.77	0.60
193	2,6-ди-трет-бутил-4- этилфенол	C ₁₆ H ₂₆ O	50.77	1747	-	-	0.13
194	тетрадекановая кислота	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	51.40	1769	0.52	0.42	0.97

195	3,3-диметил-1-фенил-1Н-2-бензофуран	$C_{16}H_{16}O$	51.75	1781	-	-	0.02
196	фенантрен-1-ол	$C_{14}H_{10}O$	52.09	1792	0.06	-	-
197	<i>октадекан</i>	$C_{18}H_{38}$	52.25	1800	0.16	0.44 (0.2)	0.84
198	3,3,4,5,5,8-гексаметил-6,7-дигидро-2Н-с-индацен-1-он	$C_{18}H_{24}O$	52.45	1805	0.06	-	-
199	гексадеканаль	$C_{16}H_{32}O$	52.75	1815	-	0.09	0.09
200	неидентифицированное m/z 245 [M^+], 152 (100)		53.12	1829	-	-	0.02
201	пентадекановая кислота (изомер)	$C_{15}H_{30}O_2$	53.50	1842	0.30	0.49	0.26
202	6,10,14-триметилпентадекан-2-он	$C_{18}H_{36}O$	53.82	1854	3.62	5.80 (2.8)	3.52
203	бис (2-метилпропил)-1,2-бензолдикарбоксилат; [диизобутилфталат]	$C_{16}H_{22}O_4$	54.32	1871	0.93	1.76 (5.0)	0.58
204	пентадекановая кислота	$C_{15}H_{30}O_2$	54.48	1877	-	-	0.27
205	(5E,8E,11E)-гептадека-5,8,11-триен-1-ол	$C_{17}H_{30}O$	54.68	1884	-	-	0.13
206	1-метил-7-пропан-2-ил-1,2,3,4,4а,9,10,10а-октагидрофенантрен	$C_{18}H_{26}$	54.83	1890	-	-	0.30
207	неидентифицированное m/z ? [M^+], 192 (100)		54.88	1891	0.62	0.26	-
208	5-(4,8-диметилнонил)-5-метилоксолан-2-он	$C_{16}H_{30}O_2$	54.97	1895	-	0.30	0.13
209	нонадекан	$C_{19}H_{40}$	55.07	1900	0.66	0.41	0.63
210	1,1,4а-триметил-6-метилен-5-(3-метил-2,4-пентадиен-1-ил)декагидронафталин; [биформен]	$C_{20}H_{32}$	55.43	1919	3.99	3.83	1.21

211	5 α -андростан-16-он	C ₁₉ H ₃₀ O	55.52	1930	-	0.14	0.13
212	(E)-6-метил-8-(2,6,6-триметил циклогексен-1-ил)окт-5-ен-2-он	C ₁₈ H ₃₀ O	55.62	1938	-	-	0.09
213	цис-11-гексадеценовая кислота	C₁₆H₃₀O₂	55.82	1953	1.67	1.75	1.42
214	<i>дибутилбензол-1,2-дикарбоксилат; [дибутилфталат]</i>	<i>C₁₆H₂₂O₄</i>	<i>56.02</i>	<i>1961</i>	<i>4.80</i>	<i>8.75 (1.0)</i>	<i>3.46</i>
215	гексадекановая кислота	C₁₆H₃₂O₂	56.12	1975	2.34	0.91	2.42
216	5-додецилоксолан-2-он	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	56.35	1992	-	0.23	0.19
217	(5 β ,8 α ,9 β ,10 α ,12 α)-атиз-16-ен	C ₂₀ H ₃₂	56.55	2010	-	0.44	-
218	каур-16-ен; [каурен]	C₂₀H₃₂	56.58	2014	1.0	1.17	0.17
219	(5S,8S,9S,10S,13S,14S)-10,13-диметил-1,2,4,5,6,7,8,9,11,12,14,15,16,17-тетрадекагидроциклопента[а]фенантрен-3-он; [5 α -андростан-3-он]	C ₁₉ H ₃₀ O	56.71	2027	0.21	0.25	0.08
220	5-(5,5,8α-триметил-2-метилен-3,4,4α,6,7,8-гексагидро-1H-нафталин-1-ил)-3-метилпент-1-ен-3-ол; [маноол]	C₂₀H₃₄O	56.90	2047	6.52	7.52	16.27
221	генэйкозан	C ₂₁ H ₄₄	57.36	2100	0.96	0.66	0.43
222	метилоктадеканоат	C₁₉H₃₈O₂	57.60	2126	0.51	0.92	4.37
223	(E,7R,11R)-3,7,11,15-тетраметилгексадец-2-ен-1-ол; [фитол]	C ₂₀ H ₄₀ O	57.75	2145	2.75	1.69	-

224	1-(3-гидрокси-10,13-диметил-2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,14,15,16,17-тетрадекагидро-1H-циклопента[а]фенантрен-17-ил)этанон; [прегнанолон]	$C_{21}H_{34}O_2$	58.75	2284	-	-	0.05
225	N-2,4,6-триметил тридеканоил пирролидин	$C_{20}H_{39}NO$	58.78	2288	-	0.05	-
226	трикозан	$C_{23}H_{48}$	58.81	2300	-	0.24	0.13
227	8-(2,5,5,8A-тетраметил-1,4,4A,5,6,7,8,8A-октагидро-1-нафталенил)-6-метил-5-октен-2-ол	$C_{23}H_{40}O$	59.01	2324	0.16	0.05	0.12
228	тетрадецилциклооктан	$C_{22}H_{44}$	59.11	2340	-	0.05	-
229	5-метил-5-(4,8,12-триметилтридецил)оксолан-2-он	$C_{21}H_{40}O_2$	59.14	2345	-	0.06	0.07
230	неидентифицированное m/z 267 [M^+], 69 (100)		59.38	2384	-	0.02	-
231	пентакозан	$C_{25}H_{52}$	60.13	2500	0.13	0.14	-
232	бис (2-этилгексил) -1,2-бензолдикарбоксилат; [диэтилгексилфталат]	$C_{24}H_{38}O_4$	60.46	2539	0.16	0.15	0.13
233	неидентифицированное m/z 365 [M^+], 183 (100)		61.15	2618	0.04	0.06	0.07
234	гептакозан	$C_{27}H_{56}$	61.91	2700	0.12	0.12	0.53
235	(22E)-3 α -эргоста-14,22-диен-5 β -ол ацетат	$C_{30}H_{50}O_2$	62.17	2711	-	0.04	-
236	2,6,10,15,19,23-гексаметилтетра-коза-2,6,10,14,18,22-гексаен; [сквален]	$C_{30}H_{50}$	63.66	2814	0.20	0.05	0.15

	Концентрация эфирного масла в сухих растениях, мг/г сух.в.				0.98	0.063	0.059
	Общее число веществ				133	180	180
	из них неидентифицированных				8	11	12

Примечания: 1) *курсивом* выделены вещества, совпадающие с веществами эфирного масла *C. demersum*, произрастающего на территории Китая (КНР); их процентное содержание указано в скобках в графе относительного содержания веществ; 2) **полужирным шрифтом** выделены вещества, доля которых хотя бы в один из периодов вегетации превышала 1%; 3) для некоторых веществ в квадратных скобках указаны тривиальные или наиболее часто употребляемые наименования; 4) «-» - означает, что компонент не обнаружен.

Таблица 6.

Компонентный состав эфирного масла *C. demersum* во время плодоношения (Фонтанный пруд) (RT – время удерживания, мин; ИК – индекс Ковача).

№	Компонент	Формула	RT	ИК	Содержание компонента в эфирном масле (%)	Концентрация вещества в сухом растении, (мг/г)
1	циклопентанол, 1-метил-	C₆H₁₂O	2.35	790	1.35	0.00079
2	гексаналь	C₆H₁₂O	2.5	796	5.40 (5.4)	0.00315
3	2-гексанол	C ₆ H ₁₄ O	2.57	798	0.37	0.00022
4	2(5H)-фуранон, 5-метил-	C ₅ H ₆ O ₂	3.42	832	0.06	0.00003
5	циклопентанон, 3-метил-	C ₆ H ₁₀ O	3.45	833	0.07	0.00004
6	2-гексен-1-ол, (E)-	C ₆ H ₁₂ O	3.63	841	0.58	0.00034
7	<i>1-гексанол</i>	<i>C₆H₁₄O</i>	<i>4.21</i>	<i>864</i>	<i>0.28 (1.9)</i>	<i>0.00016</i>

8	<i>2-гептанон</i>	$C_7H_{14}O$	4.76	886	1.03 (0.4)	0.00060
9	4-гептеналь	$C_7H_{12}O$	5.03	896	0.91	0.00053
10	<i>гептаналь</i>	$C_7H_{14}O$	5.1	899	1.22 (1.7)	0.00071
11	2-фуранметанол, тетрагидро-	$C_5H_{10}O_2$	5.61	911	0.05	0.00003
12	бензальдегид	C_7H_6O	7.21	948	0.45	0.00026
13	трисульфид, диметил-	$C_2H_6S_3$	7.31	951	0.27	0.00016
14	1-октен-3-ол	$C_8H_{16}O$	8.53	979	0.12	0.00007
15	3-октанон, 2-метил-	$C_9H_{18}O$	8.76	984	0.50	0.00029
16	фуран, 2-пентил-	$C_9H_{14}O$	8.89	987	0.87	0.00051
17	2-октанон	$C_8H_{16}O$	9.01	990	0.29	0.00017
18	цис-2-(2-пентенил)фуран	$C_9H_{12}O$	9.37	999	0.05	0.00003
19	<i>октаналь</i>	$C_8H_{16}O$	9.56	1002	0.03 (0.1)	0.00002
20	1,3-гексадиен, 3-этил-2- метил-	C_9H_{16}	10.76	1023	0.03	0.00002
21	циклогексанон, 2,2,6- триметил-	$C_9H_{16}O$	10.87	1025	0.09	0.00005
22	<i>3, 5, 5-триметил-3- циклогексен-1-он; [β-изофорон]</i>	$C_9H_{14}O$	11.41	1034	0.03 (0.7)	0.00002
23	<i>бензолацетальдегид</i>	C_8H_8O	11.52	1036	0.06 (0.8)	0.00004
24	3,5-октадиен-2-ол	$C_8H_{14}O$	11.65	1039	0.12	0.00007
25	цис-5-метил-2- изопропил-2-гексен-1-ал	$C_{10}H_{18}O$	11.79	1041	0.02	0.00001
26	<i>3, 5, 5-триметил-2- циклогексен-1-он; [изофорон]</i>	$C_9H_{14}O$	12.34	1051	0.04 (0.6)	0.00002
27	2-октеналь	$C_8H_{14}O$	12.62	1055	0.15	0.00009
28	бензальдегид, 2-метил-	C_8H_8O	12.8	1059	0.13	0.00008
29	3,5-октадиен-2-он, (E,E)-	$C_8H_{12}O$	13.57	1072	0.07	0.00004
30	2-циклогексен-1-он, 4-(1- метилэтил)-	$C_9H_{14}O$	13.65	1073	0.04	0.00002

31	1-октанол	$C_8H_{18}O$	13.79	1076	0.07	0.00004
32	3,5-октадиен-2-он (изомер)	$C_8H_{12}O$	14.8	1093	0.29 (0.2)	0.00017
33	циклогексанол, 2,6- диметил-	$C_8H_{16}O$	15.13	1099	0.39 (2.9)	0.00023
34	1-циклогексен-4- карбоксальдегид, 1- метил-	$C_8H_{12}O$	15.32	1102	0.11	0.00006
35	нонаналь	$C_9H_{18}O$	15.42	1103	0.14 (1)	0.00008
36	(3E)-6-метилгепта-3,5- диен-2-он	$C_8H_{12}O$	15.53	1104	0.08	0.00005
37	циклогексанон, 2- метилен-5-(1-метилэтил)-	$C_{10}H_{16}O$	16.15	1113	0.08	0.00005
38	3,4,8-триметилнон-2- еналь	$C_{12}H_{22}O$	18.2	1139	0.07	0.00004
39	1,3-циклогексадиен-1- карбоксальдегид, 2,6,6- триметил; [сафраналь]	$C_{10}H_{14}O$	21.99	1189	0.09 (0.3)	0.00005
40	додекан	$C_{12}H_{26}$	22.84	1200	0.07 (0.9)	0.00004
41	деканаль	$C_{10}H_{20}O$	23.22	1205	0.10 (0.2)	0.00006
42	1-циклогексен-1- карбоксальдегид, 2,6,6- триметил-; [β-циклоцитраль]	$C_{10}H_{16}O$	23.52	1209	0.15 (0.5)	0.00009
43	1-циклогексен-1- ацетальдегид, 2,6,6- триметил-	$C_{11}H_{18}O$	26.19	1245	0.04	0.00002
44	неидентифицированное m/z ? [M^+], 84 (100)		35.42	1378	0.06	0.00004
45	3-метил-2-(2-пентенил)-2- циклопентен-1-он; [дис- жасмон]	$C_{11}H_{16}O$	36.41	1393	0.18	0.00011
46	тетрадекан	$C_{14}H_{30}$	36.82	1400	0.44 (0.2)	0.00026

47	2-ундеканон, 6,10- диметил-	$C_{13}H_{26}O$	37.02	1404	0.60 (0.6)	0.00035
48	(4,4,7а-триметил- 2,4,5,6,7,7а-гексагидро-1- бензофуран-2-ил)метанол	$C_{12}H_{20}O_2$	37.26	1410	0.03	0.00002
49	4-(2,6,6-триметил-2- циклогексинил)-3-бутен- 2-он; [α-ионон]	$C_{13}H_{20}O$	37.64	1419	0.38 (0.6)	0.00022
50	2,4,7,9-тетраметил-5- децин-4,7-диол	$C_{14}H_{26}O_2$	37.82	1423	0.04	0.00002
51	6,10-диметил-5,9- ундекадиен-2-он; [геранилацетон]	$C_{13}H_{22}O$	39.04	1453	0.29 (0.5)	0.00017
52	3-циклогексен-1-метанол, α,α, 4-триметил-, пропаноат; [α-терпинеол]	$C_{13}H_{22}O_2$	39.47	1463	0.03	0.00002
53	2,6-ди(tert-бутил)-4- гидрокси-4-метил-2,5- циклогексадиен-1-он	$C_{15}H_{24}O_2$	39.77	1471	0.33	0.00019
54	4-(2,6,6-триметил-1- циклогексинил)-3-бутен- 2-он; [β-ионон]	$C_{13}H_{20}O$	40.07	1478	2.34 (7.6)	0.00137
55	пентадекан	$C_{15}H_{32}$	40.95	1500	0.79	0.00046
56	фенол, 2,6-бис(1,1- диметилэтил)-4-метил-; [ионол]	$C_{15}H_{24}O$	41.13	1504	0.26	0.00015
57	2(4H)-бензофуранон, 5,6,7,7α-тетрагидро- 4,4,7 α-триметил- [дигидроактинидиолид]	$C_{11}H_{16}O_2$	41.28	1507	0.56 (3.7)	0.00033

58	4-(2-метил-3-оксоциклогексил)бутаналь	C₁₁H₁₈O₂	41.38	1510	1.51	0.00088
59	8а-метилгексагидро-1,8(2H,5H)-нафталендион	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	41.55	1514	0.54	0.00031
60	адамantan-1-илметил хлорацетат	C ₁₃ H ₁₉ ClO ₂	42.22	1530	0.08	0.00004
61	4-метил-1-(2-тиенил)-1,3-пентандион	C ₁₀ H ₁₂ O ₂ S	42.6	1539	0.05	0.00003
62	1-додеканол, 3,7,11-триметил-	C ₁₅ H ₃₂ O	43.55	1561	0.10	0.00006
63	2-бутеналь, 2-метил-4-(2,6,6-триметил-1-циклогексен-1-ил)-	C ₁₄ H ₂₂ O	43.86	1569	0.16	0.00009
64	1-тридеканол	C ₁₃ H ₂₈ O	44.1	1574	0.52	0.00030
65	7-этинил-1,4а-диметил-4а,5,6,7,8,8а-гексагидро-2(1H)-нафталенон	C ₁₄ H ₁₈ O	44.25	1578	0.13	0.00008
66	(4S,5E,9R,10R)-9,10-эпокси-7-метилен-4-(1-метилэтил)-5-циклодецен-1-он	C ₁₄ H ₂₀ O ₂	44.35	1580	0.07	0.00004
67	неидентифицированное m/z 202 [M ⁺], 66 (100)		44.55	1585	0.18	0.00011
68	1,4-метанбензоциклодецен, 1,2,3,4,4а,5,8,9,12,12а-декагидро- (изомер)	C ₁₅ H ₂₂	44.61	1587	0.03	0.00002
69	1,4-метанбензоциклодецен, 1,2,3,4,4а,5,8,9,12,12а-декагидро-	C₁₅H₂₂	44.86	1593	1.90	0.00111

70	гексадекан	$C_{16}H_{34}$	45.15	1600	0.43	0.00025
71	тетрадеканаль	$C_{14}H_{28}O$	45.58	1611	2.74 (0.6)	0.00160
72	β -эудесмол	$C_{15}H_{26}O$	46.43	1635	0.15	0.00009
73	3,7,11-триметилдодекан-1-ол	$C_{15}H_{32}O$	46.83	1646	0.65	0.00038
74	метил(7,7-диметил-1-оксо-2,3,4,5,6,7-гексагидро-1H-инден-2-ил)ацетат	$C_{14}H_{20}O_3$	47.61	1668	0.23	0.00013
75	1-тетрадеканол	$C_{14}H_{30}O$	48.04	1680	6.51	0.00381
76	гептадекан	$C_{17}H_{36}$	48.74	1700	2.37 (0.9)	0.00138
77	пентадеканаль	$C_{15}H_{30}O$	49.12	1712	11.07 (3.3)	0.00647
78	неидентифицированное m/z 232 [M^+], 106 (100)		49.57	1728	0.04	0.00002
79	4-фенилбутан-2-илбензол	$C_{16}H_{18}$	49.87	1739	0.11	0.00007
80	фенантрен	$C_{14}H_{10}$	50.01	1744	0.71	0.00042
81	бензол, 1,3-бис(1,1-диметилэтил)-2-метокси-5-метил-	$C_{16}H_{26}O$	50.21	1751	0.27	0.00016
82	1,3-дифенилбутан-1-он	$C_{16}H_{16}O$	50.32	1755	0.12	0.00007
83	неидентифицированное m/z 248 [M^+], 105 (100)		50.51	1761	0.09	0.00005
84	1,1-диметил-3-фенил-2,3-дигидро-1-бензофуран	$C_{16}H_{16}O$	50.75	1770	0.19	0.00011
85	1-пентадеканол	$C_{15}H_{32}O$	51	1779	0.54	0.00031
86	1,5,6,7-тетраметил-3-фенилбицикло[3.2.0]гепта-2,6-диен	$C_{17}H_{20}$	51.09	1782	0.53	0.00031
87	неидентифицированное m/z ? [M^+], 194 (100)		51.4	1793	0.15	0.00009
88	октадекан	$C_{18}H_{38}$	51.57	1800	0.64 (0.2)	0.00037
89	гексадеканаль	$C_{16}H_{32}O$	52.04	1814	0.21	0.00012

90	<i>2-пентадеканон, 6,10,14-триметил-</i>	$C_{18}H_{36}O$	53.07	1847	6.26 (2.8)	0.00366
91	<i>бис (2-метилпропил)-1,2-бензолдикарбоксилат; [диизобутилфталат]</i>	$C_{16}H_{22}O_4$	53.72	1869	4.43 (5)	0.00259
92	<i>1-гексадеканол, 2-метил-</i>	$C_{17}H_{36}O$	54.25	1886	1.74	0.00102
93	<i>цис,цис,цис-7,10,13-гексадекатриеналь</i>	$C_{16}H_{26}O$	54.38	1890	2.63	0.00154
94	<i>4,8,12-триметилтридекан-4-олид</i>	$C_{16}H_{30}O_2$	54.57	1896	0.41	0.00024
95	<i>тридекан, 2-фенил-</i>	$C_{19}H_{32}$	54.68	1900	1.33	0.00078
96	<i>бутил 2-метилпропил-1,2-бензолдикарбоксилат; [1-бутил 2-изобутилфталат]</i>	$C_{16}H_{22}O_4$	54.83	1910	0.17	0.00010
97	<i>3-метил-2-(3,7,11-триметилдодецил)фуран</i>	$C_{20}H_{36}O$	54.93	1916	0.75	0.00044
98	<i>метилгексадеканоат</i>	$C_{17}H_{34}O_2$	55.15	1931	0.05	0.00003
99	<i>3,7,11,15-тетраметил-1-гексадецен-3-ол; [изофитол]</i>	$C_{20}H_{32}O_2$	55.47	1953	0.43	0.00025
100	<i>дибутил-1,2-бензолдикарбоксилат; [дибутилфталат]</i>	$C_{16}H_{22}O_4$	55.62	1963	9.19 (1)	0.00537
101	<i>3,4А,7,7,10А-пентаметил-3-винилдодекагидро-1Н-бензо[F]хромен; [маноил-оксид]</i>	$C_{20}H_{34}O$	56.05	1993	0.63	0.00037
102	<i>2,6-дифенилоксан</i>	$C_{17}H_{18}O$	56.2	2004	0.69	0.0004

103	3,7,11,15-тетраметил- 1,6,10,14- гексадекатетраен-3-ол; [гераниллиналилоол]	$C_{20}H_{34}O$	56.36	2020	0.24	0.00014
104	4-изопропил-1,7,11- триметил-2,7,11- циклотетрадекатриен-1- ол; [ганбергол]	$C_{20}H_{34}O$	56.51	2035	0.32	0.00018
105	5-(5,5,8а-триметил-2- метилендекагидро-1- нафталенил)-3-метил-1- пентен-3-ол; [manoол]	$C_{20}H_{34}O$	56.58	2042	0.42	0.00025
106	бутил 2-пентил-1,2- бензолдикарбоксилат; [1-бутил 2-пентил фталат]	$C_{17}H_{24}O_4$	56.71	2055	0.14	0.00008
107	неидентифицированное m/z 252 [M^+], 116 (100)		56.93	2077	0.34	0.00020
108	5-(7а-изопропенил-4,5- диметиллоктагидро-1Н- инден-4-ил)-3-метил-2- пентеналь	$C_{20}H_{32}O$	57.08	2092	0.29	0.00017
109	генэйкозан	$C_{21}H_{44}$	57.13	2100	0.64	0.00037
110	3,7,11,15-тетраметил-2- гексадецен-1-ол; [фитол]	$C_{20}H_{40}O$	57.26	2113	4.93	0.00288
111	метилоктадеканоат	$C_{19}H_{38}O_2$	57.38	2128	4.81	0.00281
112	5-додецилоксолан-2-он	$C_{16}H_{30}O_2$	57.48	2140	1.10	0.00065
113	неидентифицированное m/z 260 [M^+], 194 (100)		57.63	2159	0.47	0.00028
114	1,18-нонадекадиен-7,10- дион	$C_{19}H_{32}O_2$	57.76	2175	0.52	0.00030

115	андроста-4,6-диен-17-ол-3-он ацетат	$C_{21}H_{28}O_3$	58.01	2207	0.21	0.00012
116	трикозан	$C_{23}H_{48}$	58.63	2300	0.29	0.00017
117	этил 1,4а-диметил-7-пропан-2-ил-2,3,4,4b,5,9,10,10а-октагидрофенантрен-1-карбоксилат	$C_{22}H_{34}O_2$	58.88	2339	0.10	0.00006
118	4,8,12,16-тетраметилгептадекан-4-олид	$C_{21}H_{40}O_2$	58.96	2352	0.16	0.00009
119	пентакозан	$C_{25}H_{52}$	59.86	2500	0.12	0.00007
120	бис (2-этилгексил)-1,2-бензолдикарбоксилат; [бис(2-этилгексил)фталаат]	$C_{24}H_{38}O_4$	60.21	2545	0.43	0.00025
121	гептакозан	$C_{27}H_{56}$	61.56	2700	0.07	0.00004
ВСЕГО						0.05847

Примечания: 1) *курсивом* выделены вещества, совпадающие с веществами эфирного масла *C. demersum*, произрастающего на территории Китая (КНР); их процентное содержание указано в скобках в графе относительного содержания веществ; 2) **полужирным шрифтом** выделены вещества, доля которых превышала 1%; 3) для некоторых веществ в квадратных скобках указаны тривиальные или наиболее часто употребляемые наименования.

Таблица 7.

Сравнительное содержание (% по отношению к цельному эфирному маслу) основных групп веществ в образцах *C. demersum*, произрастающего на территории России, в различных условиях освещённости и Китая. I - начало вегетации, II – середина вегетации, III – продолжение вегетации, конец августа, IV - *C. demersum*, произрастающий на территории России, фаза плодоношения.

Группа веществ	<i>C. demersum</i> (Россия, Санкт-Петербург)					<i>C. demersum</i> (Китай)
	Условия затенения				Нормальная освещённость	
	I	II	III	среднее		
альдегиды	8.16	8.66	17.09	11.30	26.17	16.0
эфирь	9.59	15.1	14.13	12.94	25.04	36.8
спирты	49.39	35.54	24.27	36.4	19.87	4.8
кетонь	11.51	16.91	22.51	16.98	14.02	16.7
углеводородь	9.9	11.35	8.81	10.02	7.82	3.2
ароматический углеводородь	2.02	2.04	2.15	2.07	2.68	7.1
полифункциональные соединения	1.1	1.52	1.89	1.50	2.43	0.4
неизвестные соединения	1.47	1.16	0.71	1.11	1.33	12.8
жирные кислоты	5.46	4.87	5.75	5.36	-	-
азотсодержащие вещества	0.14	1.52	0.49	0.71	-	2.2
серосодержащие вещества	1.18	1.33	1.86	1.45	0.32	-
фенолы	0.08	-	0.34	0.21	0.26	-
хлорсодержащие соединения	-	-	-	-	0.08	-

Примечание: «-» - означает, что компонент не обнаружен.

Исследование качественного состава и количественного содержания ЛНОС *C. demersum* произраставшего в Квадратном пруду, в течение вегетации показало, что его эфирное масло содержит от 133 до 180 компонентов (в зависимости от даты отбора образцов). Всего же обнаружено 236 компонентов, из которых было идентифицировано 218 (табл. 5). В составе ЛНОС *C. demersum*, вегетирующего в Фонтанном пруду было выявлено 121 соединение (табл. 6).

Для *C. demersum*, произраставшего на территории Китая, было идентифицировано 56 соединений, которые в сумме составляли 87.2% от общего количества эфирного масла (Qiming et al, 2006a). Сопоставив результаты исследований компонентного состава эфирных масел роголистника тёмно-зелёного произрастающего на территории России и Китая, можно сделать вывод, что вне зависимости от места произрастания макрофитов в компонентном составе эфирного масла имеются общие вещества (27 - 29 соединений, в зависимости от фазы вегетации растений) (табл. 5, 6), но их количественное содержание варьирует. Так, например, концентрации некоторых веществ оказались близкими - содержание 6,10-диметилундекан-2-она, тетрадекана, геранилацетона в образце из Квадратного пруда было от 0.35% до 0.87%, 0.22 — 0.42% и 0.46 - 0.8%, Фонтанного – 0.6%, 0.44% и 0.29% а в образцах *C. demersum*, произрастающих на территории Китая – 0.6%, 0.2% и 0.5% соответственно. В то же время, доли в эфирном масле таких веществ как β -ионон (2.07 - 4.42%; 2.34% и 7.6%), 6,10,14-триметилпентадекан-2-он (3.52 - 5.8%; 6.26% и 2.8%), пентадеканаль (1.38 - 1.69%; 11.07% и 3.3%), дибутилфталат (3.46- 8.75%; 9.19% и 1.0%), деканаль (0.02 — 0.06%; 0.1% и 0.2%) значительно отличались. Количественное содержание некоторых ЛНОС, присутствующих во всех образцах эфирного масла роголистника тёмно-зелёного, вне зависимости от места произрастания растений, было близким между *C. demersum* только одного из прудов и роголистником произрастающим

на территории Китая. Например, содержание диизобутилфталата в *C. demersum* из Квадратного пруда было 0.58 — 1.76%, в то время как роголистник из Фонтанного пруда и макрофиты произрастающие на территории Китая содержали 4.43% и 5% диизобутилфталата соответственно. Отличия прослеживаются и в относительном содержании других компонентов. Интересно, что некоторые соединения были обнаружены в образцах эфирного масла *C. demersum*, только из одного пруда (Фонтанного или Квадратного) и в растениях произрастающих на территории Китая, в экстрактах выделенных из макрофитов другого пруда эти вещества отсутствовали. Так, например, дигидроактинидиолид (0.56%), нонаналь (0.14%) были выявлены в *C. demersum* из Фонтанного пруда и в растениях произрастающих на территории Китая (3.7% и 1% соответственно), а ментлактон, кетоизофорон только в роголистнике из Квадратного пруда и в китайских образцах растений (0.06 — 0.2%; 0.2% и 0.12 - 0.35% и 0.7% соответственно) (табл. 5, 6). Компонентный состав эфирного масла роголистника тёмно-зелёного произрастающего на территории Китая, имел наибольшее сходство с составом эфирного масла *C. demersum* из Фонтанного пруда и с роголистником из Квадратного пруда в начале вегетационного сезона. Коэффициенты сходства Жаккара 0.187 и 0.166 соответственно, Съёренсена-Чекановски — 0.315 и 0.284 а минимальное — с третьей фазой вегетации роголистника из Квадратного пруда (коэффициенты сходства Жаккара и Съёренсена-Чекановски — 0.133 и 0.236 соответственно) (Jaccard, 1901, Sørensen, 1948).

Сравнивая содержание основных групп органических веществ в образцах *C. demersum*, произрастающего на территории России в затененных условиях, собранных в 2009 году и Китая (табл. 7), можно отметить, что в российском образце преобладали спирты (24.27 - 49.39%) и кетоны (11.51 - 22.51%), а в китайском - эфиры (36.8%), кетоны (16.7%) и альдегиды (16.0%).

Причиной обнаружения значительно большего количества веществ в наших образцах могут быть как методические отличия в выделении соединений

(для экстракции мы использовали гексан, а не диэтиловый эфир), так и тот факт, что в различных условиях окружающей среды, в том числе в зависимости от определенного абиотического и биотического окружения, растения способны синтезировать различное число органических соединений, выполняющих необходимые в данный момент функции (Inderjit, 1994; Chemical ecology ..., 2002; Fink, 2007). Не исключено также, что сравниваемые растения находились в различных фазах индивидуального развития, т.к. в цитируемой статье нет указания на соответствующую фазу вегетации *C. demersum*. Однако, этот момент (различие по фазам вегетации) не мог сильно повлиять на число различающихся соединений, т. к. в наших образцах, собранных в течение всего сезона развития растений, не повторяющиеся вещества составляли не более 82 соединений (34.7%) при их общем количестве 236.

Важность для формирования компонентного состава ЛНОС условий произрастания и биологического окружения подтверждается сравнением результатов, полученных при исследовании качественного состава и количественного содержания эфирных масел *C. demersum* произрастающих в условиях разной освещенности.

В частности, эфирное масло роголистника произрастающего в условиях с высокой степенью затенения, в середине вегетации (июль) и в конце августа содержало 180 компонентов, в составе ЛНОС *C. demersum*, вегетирующего при высоком уровне инсоляции было выявлено 121 соединение (табл. 5, 6).

Компонентный состав эфирного масла роголистника во время фазы плодоношения (Фонтанный пруд) был наиболее сходен с третьей фазой вегетации *C. demersum* из Квадратного пруда, а наименьшее сходство наблюдается с серединой вегетационного сезона. Коэффициенты сходства Жаккара для составов эфирных масел из проб, отобранных в Квадратном пруду в середине сезона вегетации и в конце лета и Фонтанном пруду составили 0.218 и 0.228 соответственно (Jaccard, 1901), Сьёренсена-Чекановски — 0.359 и 0.372 (Sørensen, 1948). Но прослеживаются и значительные различия в

количественном содержании компонентов. В то время как, в конце августа у *C. demersum* произрастающего в условиях с высокой степенью затенения, концентрации таких соединений как маноол (16.27%), β -ионон (4.42%) были выше, чем у роголистника произрастающего при более высоком уровне освещения (0.42% и 2.34% соответственно), содержание диизобутилфталата (0.58%), пентадеканала (1.38%) и некоторых других компонентов было значительно ниже (4.43% и 11.07% соответственно). Известно, что предшественником β -ионона является β -каротин (Bouvier et al., 2005) и в статье Е. В. Тютеревой и О. В. Войцеховской сообщается, что в условиях затенения у ячменя возрастало содержание β -каротина (Тютерева, Войцеховская, 2011). Возможно у роголистника тёмно-зелёного аналогичная реакция на затенение и увеличение количества β -каротина привело к повышению содержания β -ионона в растениях.

Отличались и суммарные содержания основных групп экстрактивных веществ. Так, например, среди ЛНОС роголистника произраставшего в Квадратном пруду преобладали спирты (24.27 – 49.39%), а у *C. demersum* из Фонтанного пруда – альдегиды (26.17%) (табл. 6). Отмеченные различия в компонентном составе ЛНОС не могут быть приписаны разным методикам изучения (как в случае с китайскими образцами растений), поскольку в нашем случае мы использовали идентичную методику исследования, а могут быть объяснены исключительно различными условиями обитания *C. demersum*, подтверждая способность растений существенно менять качественный и количественный состав синтезируемых ЛНОС в соответствии с имеющимися на данный момент потребностями в осуществлении тех или иных эколого-физиологических функций.

В течение сезона, в исследованных нами образцах роголистника, произрастающего в затененных условиях, наблюдалось увеличение числа ЛНОС в составе эфирного масла от 133 в начале июня до 180 в конце августа. При этом наибольшее значение суммарной концентрации ЛНОС в сухих

растениях в течение вегетации было отмечено для начала вегетации (0.98 мг/г сух. в.). В дальнейшем суммарная концентрация эфирного масла в вегетирующих растениях значительно понижалась: в середине и в конце вегетации составляла только около 0.06 мг/г сух. в. (табл. 5).

Общими для всего периода вегетации растений являлись 104 компонента, среди которых основными (содержание свыше 1%, встречаемость в течение всего сезона) в исследованных образцах было 8: гексаналь (1.8 - 6.33%), β -ионон (2.07 - 4.42%), пентадеканаль (1.38 - 1.69%), 6,10,14-триметилпентадекан-2-он (3.52 - 5.8%), биформен (1.21 - 3.99%), цис-11-гексадеценовая кислота (1.42 - 1.75%), дибутилфталат (3.46 - 8.75%), манол (6.52 - 16.27%).

Среди ЛНОС роголистника тёмно-зелёного из Квадратного пруда в течение всего периода вегетации преобладали спирты, суммарное количество которых уменьшалось в процессе роста и развития растений от 49.39% до 24.27%. Содержание в эфирном масле *C. demersum* некоторых других групп экстрактивных веществ, растворимых в гексане, также значительно изменялось в онтогенезе растений. Суммарное количество альдегидов (8.16 - 17.09%) и кетонов (11.51 - 22.51%) увеличивалось в процессе роста и развития макрофитов. Максимальное количество эфиров (15.1%) и углеводов (11.35%) было выявлено в середине вегетации растений, а содержание жирных кислот (4.87 - 5.75%) и полифункциональных соединений (1.1 - 1.89%) незначительно изменялось в течение вегетации (табл. 5).

В эфирном масле *C. demersum* из Квадратного пруда преобладали манол (6.52 - 16.27%), содержание которого увеличивалось в онтогенезе растений (рис. 18), биформен, β -эудесмол и α -эудесмол, их синтезирование, наоборот, уменьшалось (3.99 - 1.21%, 10.33 - 0.65% и 13.34 - 0.63% соответственно). Максимальное количество дибутилфталата, масс-спектр которого приведен на рис. 14, приходилось на середину вегетации - 8.75% (рис. 18), синтезирование

таких минорных компонентов как додекан-2-он, селинан и некоторых других ЛНОС оставалось практически неизменным в течение вегетации.

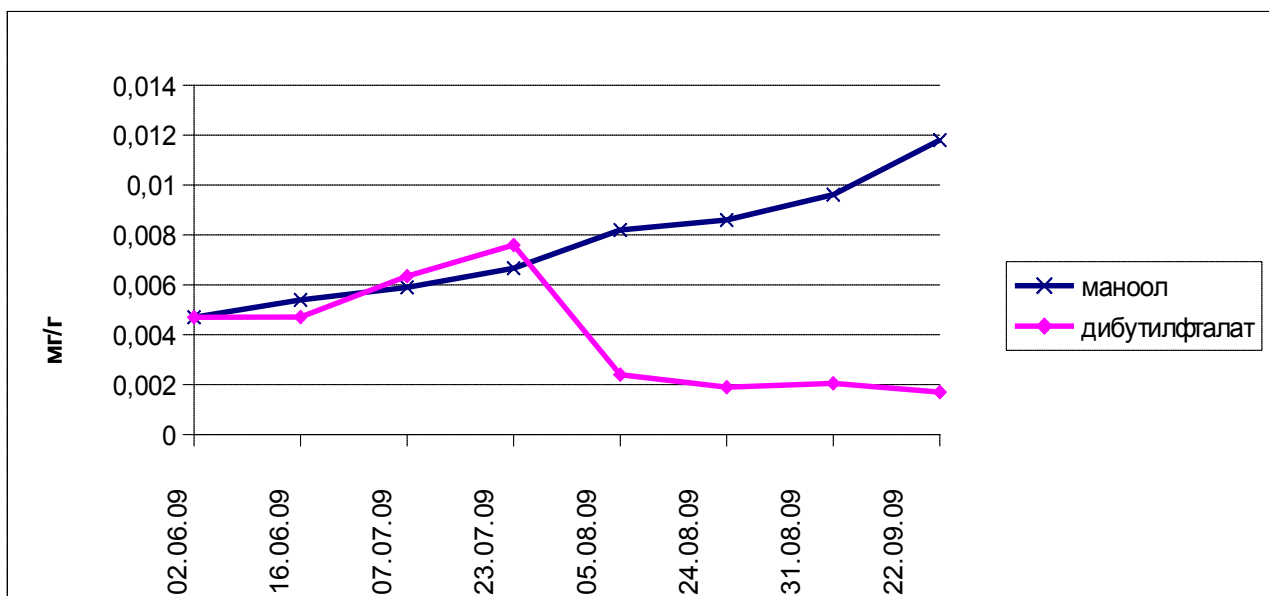


Рис. 18. Сезонное изменение концентраций манолола и дибутилфталата в *Ceratophyllum demersum* L. (Квадратный пруд в Парке Победы, Санкт-Петербург).

Среди водных растений маноол, например, был выявлен у *P. obtusifolius* и *Nuphar lutea* (L.) Smith (Курашов и др., 2013). При этом, если у роголистника концентрация манолола невелика (4.8-12 мкг/г сухого вещества), то у рдеста туполистного в конце августа может достигать 356 - 680 мкг/г сухого вещества (в зависимости от условий обитания), плавающие листья кубышки жёлтой содержали маноол в количестве 97.2 мкг/г сухого вещества (Курашов и др., 2013). Необходимо отметить, что количественное содержание манолола в роголистнике, так же как и в рдесте туполистном, увеличивалось в процессе роста и развития растений. Маноол активно выделялся роголистником в окружающую среду. По нашим данным, его концентрация в воде внутри зарослей *C. demersum* составляла от 0.055 мг/л до 0.640 мг/л. Общий вид хроматограммы воды из Квадратного пруда (заросли роголистника тёмно-зелёного) приведен на рисунке 19.

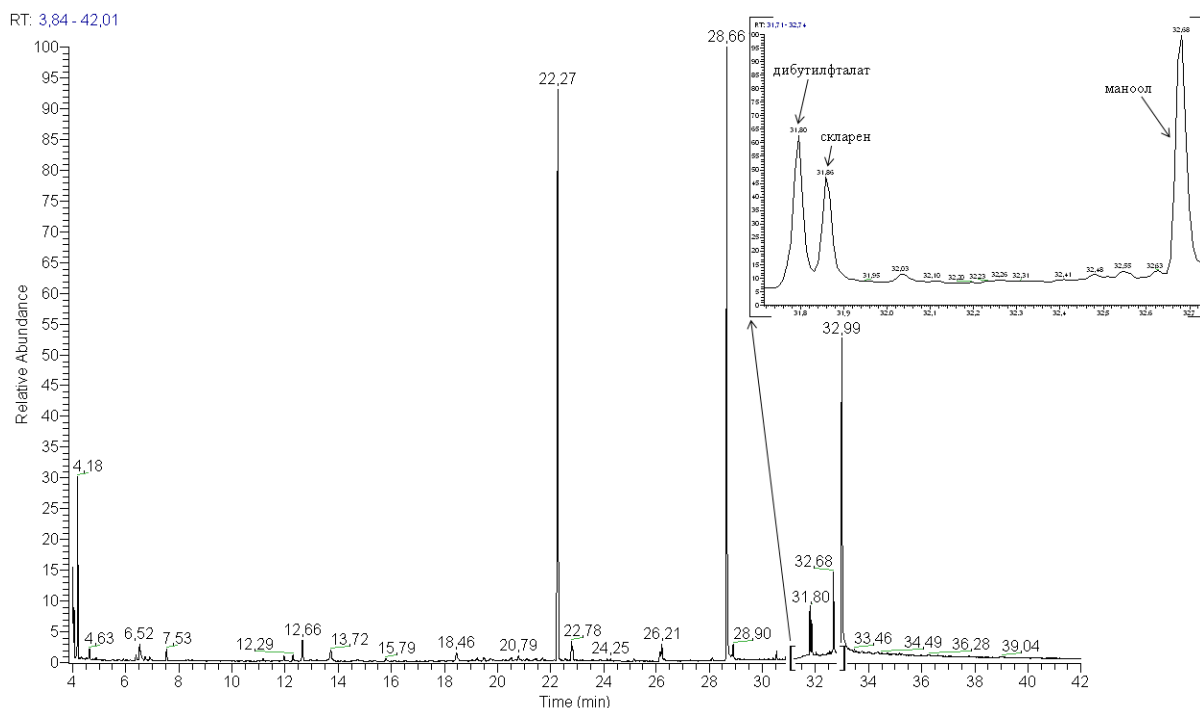


Рис. 19. Общий вид хроматограммы воды Квадратного пруда (заросли роголистника тёмно-зелёного).

Среди выделенных веществ необходимо отметить β -эудесмол (0.65 - 10.33%) имеющий медицинское значение (Miyazawa et al., 1996; Tsunekia et al., 2005), гексаналь (1.80 - 6.33%), обладающий антимикробной активностью (Рощина, Рощина, 1989). Как β -эудесмол, так и гексаналь нами были выявлены и среди ЛНОС рдеста туполистного. Интересно, что максимальное содержание β -эудесмола в роголистнике тёмно-зелёном и в рдесте туполистном приходилось на начало вегетации, а количество гексаналя, в *P. obtusifolius* и *C. demersum*, наоборот, увеличивалось в процессе роста и развития растений.

Многие ЛНОС, синтезируемые *C. demersum* с длиной цепи от C_5 до C_{10} , обладают выраженным запахом, их функции в водных экосистемах еще не до конца ясны и слабо изучены, однако по аналогии с наземными экосистемами можно предполагать, что они играют важную регулирующую роль, определяя

стратегию взаимодействия макрофитов, водорослей, донных и планктонных беспозвоночных (Watson, 2003; Watson et al, 2009; Jüttner et al, 2010).

Внимания заслуживает обнаружение среди метаболитов роголистника цис-жасмона (табл. 5, рис. 20), являющегося аллелопатическим агентом и веществом, предотвращающим потребление растений насекомыми (Pickett et al, 2005). Вещества группы жасмонатов выступают в качестве информационных медиаторов, индуцирующих синтез веществ, ответственных за осуществление химической защиты против потребителей растений и патогенных микроорганизмов (Birkett et al, 2000; Arnold et al, 2001; Wittstock et al, 2002; Vi et al, 2007). Жасмонаты способствуют увеличению устойчивости водорослей против температурного стресса и инфекций (Christov et al, 2001). Показано, что функции и результат воздействия жасмонатов на водоросли зависят от их концентрации. Так, при высоких концентрациях эти соединения могут выступать как самостоятельные аллелохимические агенты, уменьшая, например, численность клеток водорослей, концентрацию фотосинтетических пигментов, моносахаридов и других внутри- и внеклеточных метаболитов. При низких концентрациях жасмонаты выполняют сигнальную функцию, инициируя синтез различных веществ (в том числе высокомолекулярных), используемых растениями в ходе аллелопатических взаимодействий (Czerpak et al, 2006; Кирпенко и др., 2010; Piotrowska et al, 2010).

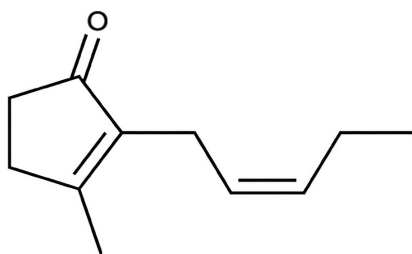


Рис. 20. Аллелохимическое соединение из состава метаболитов *C. demersum*: цис-жасмон.

Среди ЛНОС роголистника тёмно-зелёного как и у рдеста туполистного выявлено пять соединений относящихся к группе иононов, но в значительно

больших концентрациях (2.71 - 5.64% и 0.57 — 1.67% всех ЛНОС соответственно).

В эфирном масле *C. demersum* нами были выявлены фитоэкдистероиды (0.21 - 0.43%), близкие к стероидным гормонам насекомых и ракообразных, стимулирующие линьку (Баширова, 2003). Избыточное поступление экдистеринов в организм ракообразных и личинок насекомых при поедании растений, содержащие эти вещества, может нарушать их нормальное развитие, вызывать метаболический стресс, преждевременную линьку, потерю массы, а иногда и гибель (Dinan, 2001; Dinan et al., 2001; Тимофеев, 2006). Поэтому выработка гормонов линьки растениями может рассматриваться как защитное приспособление против консументов (Семенов, 2000).

В составе ЛНОС роголистника тёмно-зелёного, в сравнении с другими водными растениями, были выявлены высокие концентрации фталатов (диизобутилфталат, дибутилфталат, диэтилгексилфталат), на долю которых приходилось 4.17 - 10.66%. В то время как рдест туполистный содержал всего от 1.36% до 3.55%, а кубышка жёлтая – 4 - 5 % (Курашов и др., 2013). Участок хроматограммы *C. demersum* L. с пиками фталатов дан на рисунке 21.

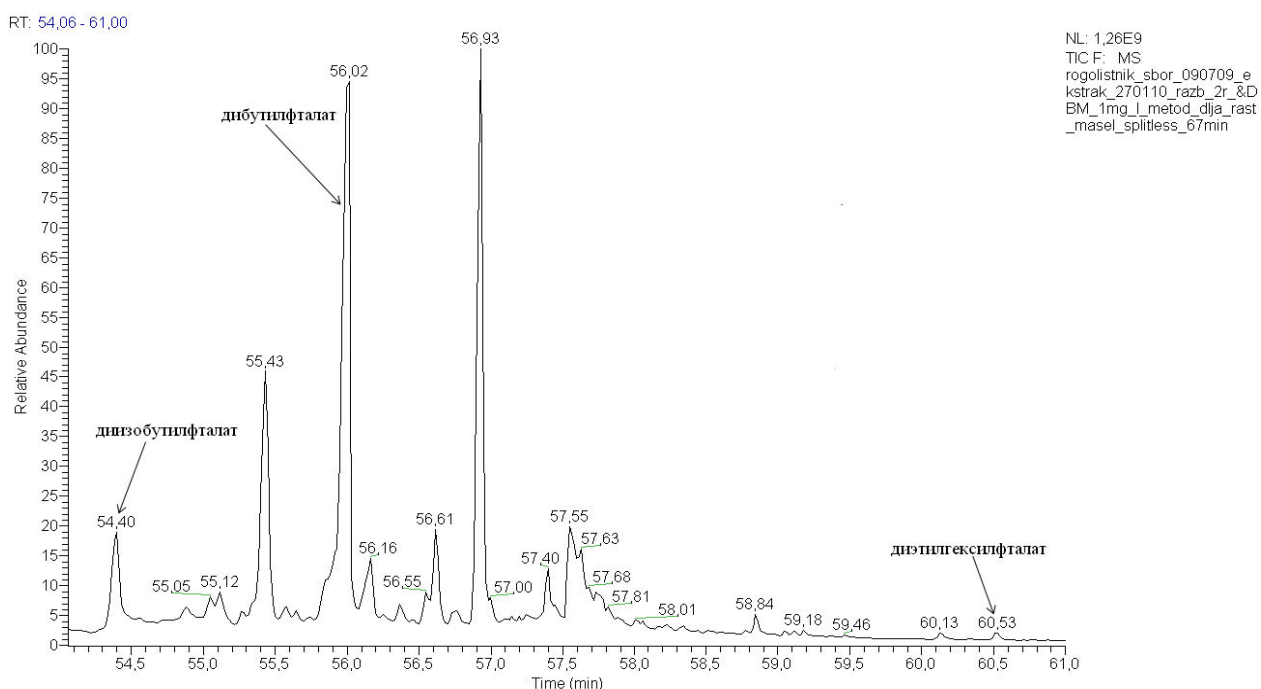


Рис. 21. Участок хроматограммы *C. demersum* L. с фталатами.

В составе эфирных масел *C. demersum*, так же как и у *P. obtusifolius* были выделены серосодержащие компоненты (10) – 0.98 - 1.66% от общего количества ЛНОС: пропан-1,2-дитиол (0.02 - 0.06%), гексан-3-тиол (0.04 - 0.20%), трисульфид, диметил- (0.06 - 0.37%), 2-пропилтиофен (0.05%), 2,4,5-триметил-2,5-дигидро-1,3-тиазол (0.15%), 2-метил-2-пропан-2-ил-1,3-оксатиолан (0.01 - 0.19%), 3,5-диметил-1,2,4-тритиолан (0.54 - 0.98%), 3-этил-5-метил-1,2,4-тритиолан (0.03 - 0.07%), 2-метил-1,3-бензотиазол (0.04%), 3-метил-5-бутил-1,2,4-тритиолан (0.05%). Некоторые серосодержащие соединения выполняют защитные функции. Так, например, выявлено, что синтезируемый наземными растениями диметил трисульфид (рис. 22) оказывает ингибирующее действие на некоторые мицелиальные грибы (Zhang et al., 2013) и дрожжи (Kim et al., 2004). Возможно, что и в водных экосистемах серосодержащие соединения выполняют аналогичные функции.

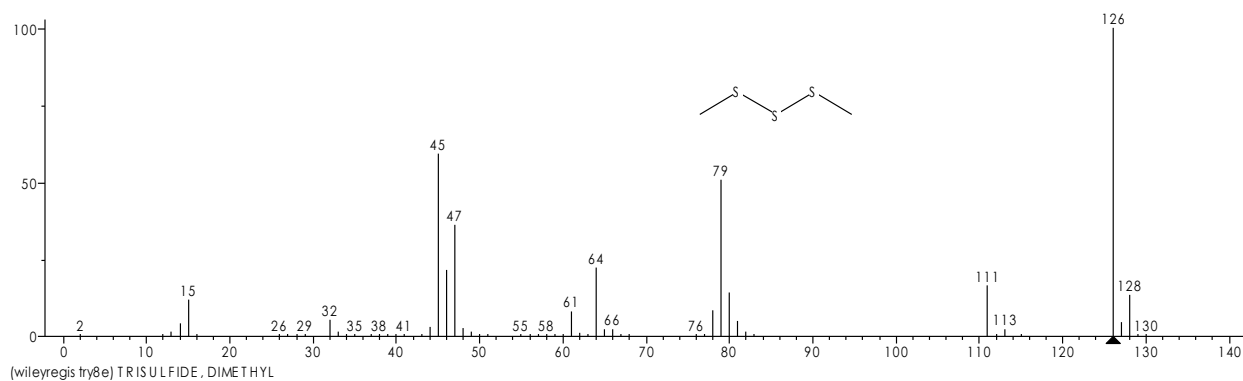


Рис. 22. Масс-спектр и структурная формула диметил трисульфида.

Сопоставив результаты исследований компонентного состава эфирных масел роголистника тёмно-зелёного произрастающего на территории России в условиях разной освещенности и рдеста туполистного, можно сделать вывод, что вне зависимости от места произрастания *C. demersum* в компонентном составе его эфирного масла и среди ЛНОС *P. obtusifolius* имеются общие

вещества (49-86 соединений, в зависимости от места произрастания роголистника тёмно-зелёного), но их количественное содержание варьирует. Анализ динамики компонентов эфирного масла *P. obtusifolius* и *C. demersum*, показал, что количественное содержание некоторых соединений аналогично изменяется в онтогенезе растений вне зависимости от их вида. Так, например, максимальные концентрации эудесмолов и биформена как в рдесте так и в роголистнике приходились на начало вегетации. Минимальное количество синтезируемого данными макрофитами каурена было выявлено в конце вегетации, в то время как содержание маноола увеличивалось.

Таким образом, имеющаяся информация по составу ЛНОС роголистника указывает на то, что качественный состав и количественное содержание эфирных масел значительно меняется не только в онтогенезе растений, но и зависит от условий их произрастания.

ГЛАВА 5. АНТИБАКТЕРИАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ РДЕСТА ТУПОЛИСТНОГО И РОГОЛИСТНИКА ТЁМНО-ЗЕЛЁНОГО

Современные стандартизованные методы определения чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам подразделяют на методы серийных разведений, диффузионные (МУК 4.2.1890-04, 2004; Jorgensen, Ferraro, 1998) и метод биоавтографии (Nostro et al., 2000).

В настоящее время, как в России, так и в мире, наиболее высокими темпами идет развитие исследований антибактериальной активности эфирных масел наземных растений, прежде всего имеющих пищевое и фармакологическое значение (Porter, Wilkins, 1998; Тропникова и др., 1999; Mimica-Dukic et al., 2004; Koutsoudaki et al., 2005; Carson et al., 2006; Radulovic et al., 2006; Кашина, 2009 и др.). Данных об антимикробной активности летучих низкомолекулярных органических соединений высших водных растений крайне мало (Liu et al., 2006; Xiangwei et al., 2006; Sittiwet, 2009; Thongdon-A., Inprakhon, 2009; Tomczykowa et al., 2011). В данных работах, определение антибактериальной активности эфирных масел высших водных растений, в основном, проводилось методом серийных разведений. Диффузными методами исследовали антимикробный эффект эфирного масла стрелолиста Xiangwei Z. с коллегами и Sittiwet C. определял антибактериальную активность эфирных масел лотоса (Xiangwei et al., 2006; Sittiwet, 2009).

В нашей работе определение чувствительности микроорганизмов к ЛНОС осуществлялось диско - диффузионным методом. Но, к сожалению, сравнить антимикробную активность даже тех водных растений, эффективность которых была исследована диффузионными методами достаточно сложно, т. к. всеми исследователями в диски (лунки) вносились разные количества эфирных масел.

В нашей работе, в качестве тест-объектов, были использованы типичные представители грамотрицательных и грамположительных микроорганизмов: грамотрицательные - *Escherichia coli* и *Pseudomonas aeruginosa*,

грамположительные – *Bacillus subtilis* (Государственная..., 2008). Антимикробную активность изучали при микробной нагрузке 10^8 кл/мл. В качестве препарата сравнения использовали эфирное масло эвкалипта шаровидного, полученное из официального растительного сырья — листьев эвкалипта шаровидного (ООО «Реал») т. к. эвкалиптовое масло обладает выраженной антимикробной активностью и внесено в Государственный реестр лекарственных средств (анатомо-терапевтическая химическая классификация— антибактериальные препараты другие) (Государственный реестр..., 2015). Тест-микроорганизмы подвергались, таким образом, воздействию, как летучих фракций эфирного масла, так и диффундирующих в агар. После инкубирования определяли диаметр (мм) зон задержки роста тест-микроорганизмов вокруг дисков, пропитанных эфирными маслами. Для определения антимикробной активности использовалось эфирное масло полученное из растений собранных в июле 2009 года.

Проведенное микробиологическое тестирование выявило антибактериальную активность эфирных масел рдеста туполистного, роголистника тёмно-зелёного и эвкалипта шаровидного в отношении *Escherichia coli* и *Bacillus subtilis*. Ингибирующее действие на *Pseudomonas aeruginosa* оказывало только эфирное масло эвкалипта шаровидного (табл. 8, рис. 23). Сравнив антибактериальную активность исследованных нами водных растений с работами Xiangwei Z. с коллегами и Sittiwet C., можно отметить, что эфирное масло стрелолиста не обладало антимикробной активностью в отношении *E. coli* и *Ps. aeruginosa*, в отношении *B. subtilis* противомикробное действие эфирного масла стрелолиста данными авторами не проверялось. ЛНОС лотоса не проявляли антибактериальный эффект против *B. subtilis* и *Ps. aeruginosa*, однако, его эфирное масло обладало антимикробным действием в отношении *E. coli* (Xiangwei et al., 2006; Sittiwet, 2009). Эфирные масла исследованных нами водных растений обладали антибактериальным эффектом в отношении *E. coli* и *B. subtilis*.

Таблица. 8

Сравнительная антибактериальная активность эфирных масел рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного.

Тест-микроорганизм	Диаметр зоны ингибирования роста тест-микроорганизма (мм) эфирным маслом		
	<i>Ceratophyllum demersum</i>	<i>Potamogeton obtusifolius</i>	<i>Eucalyptus globulus</i> (препарат сравнения)
<i>Bacillus subtilis</i>	17.4±1.0	17.0±0.9	21.0±1.4
<i>Escherichia coli</i>	17.8±2.0	12.7±1.8	18.2±0.7
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	-	-	13.6±2.1

Примечание: «-» - означает, что зона задержки роста тест-микроорганизма вокруг диска отсутствует.

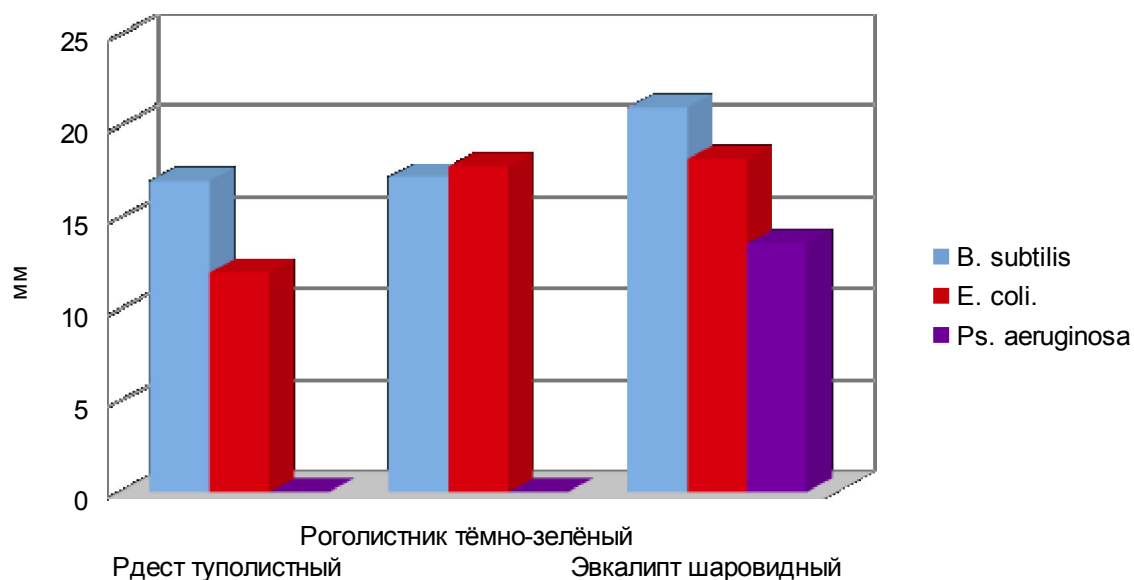


Рис. 23. Антибактериальная активность эфирных масел рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного.

Исследование антимикробной активности эфирных масел *C. demersum* и *P. obtusifolius* показало, что если в отношении *Bacillus subtilis* их действие примерно одинаково, то ингибирующее влияние роголистника тёмно-зелёного на *Escherichia coli* значительно выше противомикробного действия рдеста туполистного. Более высокая антибактериальная активность эфирного масла роголистника тёмно-зелёного может быть связана с тем, что в составе ЛНОС *C. demersum* в июле содержится больше альдегидов (8.66%), чем в эфирном масле рдеста туполистного (1.99%), количество углеводов (11.35 и 33.89% соответственно). А известно, что наиболее сильно антимикробное действие выражено у альдегидов, слабее у спиртов и еще слабее у углеводов (Дроботько и др., 1958; Cosentino et al., 1999). Эфирное масло *C. demersum* в отношении *E. coli* и *B. subtilis* проявляло одинаковый эффект. ЛНОС рдеста туполистного наиболее активно действовали на *Bacillus subtilis* и в меньшей степени его антимикробная активность распространялась на *Escherichia coli*. Результаты антибактериальной активности эфирных масел обрабатывали методами математической статистики с использованием программы STATISTICA 10. Было показано, что различия диаметров зон задержки роста *E. coli* и *B. subtilis* вокруг дисков, пропитанных эфирными маслами рдеста туполистного достоверны (табл. 9), а роголистника тёмно-зелёного — недостоверны (табл. 10).

Таблица. 9

Однофакторный дисперсионный анализ достоверности различия диаметров зон задержки роста *E. coli* и *B. subtilis* вокруг дисков, пропитанных эфирными маслами рдеста туполистного.

	SS	MS	F	p
Intercept	2002,225	2002,225	4576,514	0,000000
Бактериальная культура	65,025	65,025	148,629	0,000002
Error	3,500	0,438		

Таблица. 10

Однофакторный дисперсионный анализ достоверности различия диаметров зон задержки роста *E. coli* и *B. subtilis* вокруг дисков, пропитанных эфирными маслами роголистника тёмно-зелёного.

	SS	MS	F	p
Intercept	3276,100	3276,100	1069,747	0,000000
Бактериальная культура	4,900	4,900	1,600	0,241504
Error	24,500	3,063		

Высокая резистентность *Ps. aeruginosa* к эфирным маслам может быть связана с наличием ферментов, которые осуществляют биodeградацию или модификацию эфирных масел (Mikami, 1988; Trudgill, 1990; Berger et al., 1999), а также с особенностями строения наружной мембраны клеточной стенки (Mann et al., 2000).

Таким образом, эфирные масла рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного проявляют антимикробную активность как в отношении грамположительных, так и грамотрицательных микроорганизмов. Причем, эфирное масло *C. demersum* в отношении *E. coli* и *B. subtilis* проявляло одинаковый антимикробный эффект, сопоставимый по эффективности с антибактериальным действием эфирного масла эвкалипта шаровидного.

Здесь стоит отметить работу P. J. Bushmann и M. S. Ailstock (2006) которые исследовали антимикробную активность экстрактов некоторых водных растений (*P. pectinatus*, *P. perfoliatus*, *R. maritima*) на микроорганизмы (Bushmann, Ailstock, 2006). Исходя из результатов их исследований можно предположить, что метаболиты (их химические структуры не были определены) данных растений на некоторые автохтонные микроорганизмы водоёма действуют несколько сильнее, чем на аллохтонную микрофлору. Однако, необходимо иметь в виду, что бактерии обладают высокими адаптационными возможностями и способны приспособиться к угнетающему

действию метаболитов растений (Bennett, Wallsgrave, 1994). Поэтому действие метаболитов изученных видов макрофитов на типично водные микроорганизмы из исконных местообитаний, к существованию с которыми макрофиты приспособлены, необходимо тщательно изучить для создания природных антимикробных препаратов или их синтетических аналогов с целью снижения количества патогенной микрофлоры в водоёме.

ГЛАВА 6. ВОЗМОЖНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛНОС РДЕСТА ТУПОЛИСТНОГО И РОГОЛИСТНИКА ТЁМНО-ЗЕЛЁНОГО

Метаболиты, продуцируемые водными растениями, не только создают в водоемах специфическую химическую среду, определяющую экологические, гидробиологические и гидрохимические условия жизни гидробионтов (Метейко, 1978), но и могут использоваться для получения природных фунгицидных, альгицидных препаратов (или их синтетических аналогов) (Райс, 1978; Allelopathy ..., 2006; Ну, Hong, 2008), а также в медицине и парфюмерии (Kagawa et al., 1993; Dimas et al., 1998; Sell, 2003, Neerman, 2003; Pratsinis et al., 2010 и др.).

Метаболиты, выделяемые макрофитами, могут угнетающе действовать на фито- и бактериопланктон, снижая их численность. В ряде работ (Коган, Крайнюкова, 1977; Эйнон, 1990; Hilt et al., 2006; Svanys et al., 2013) показано, что в водоемах с хорошо развитой водной растительностью, практически не наблюдается высокого развития фитопланктона. Поэтому в некоторых работах (Gross et al., 1996; Ну, Hong, 2008) для подавления развития цианобактерий предлагается использовать выделенные из макрофитов природные экзометаболиты, а также их синтетические аналоги.

Многие ЛНОС водных макрофитов обладают способностью ингибировать развитие и рост фито- и бактериопланктона. По литературным данным, в формировании аллелопатических и защитных механизмов макрофитов в пресноводных водоемах принимают участие большое количество соединений, принадлежащих к различным классам.

Так, например, терпены проявляют широкий спектр биологических свойств (Племенков, 2007) и участвуют практически во всех функциональных проявлениях действия ЛНОС в водоемах (аллелопатическая роль; защитная роль; роль информационных медиаторов; привлечение (аттрактанты) (Fink, 2007), а также сдерживание конкурентов за те или иные ресурсы). Так,

например, дитерпен каурен, содержание которого в рдесте было от 0.76 до 6.59% и сесквитерпены α -копаен, гермакрен-D защищают растения от грибковых инфекций (Рощина, Рощина, 1989; Cheng et al., 2005), а β -селинен, Δ -кадинен от растительноядных насекомых (Рощина, Рощина, 1989). Терпены могут находить применение и в медицине. Так, например, d-лимонен используется для химиотерапии опухолей (Баширова, 2003). Биформен может использоваться в качестве агента, тормозящего агрегацию тромбоцитов, препятствуя свертыванию крови (Kagawa et al., 1993).

Значительную роль в аллелопатических взаимодействиях растений с другими гидробионтами играют альдегиды и кетоны. Многие из них обладают альгицидной активностью, а также ингибируют рост и развитие цианобактерий: β -циклоцитраль (Chang et al., 2011), 6-метил-5-гептен-2-он, β -ионон (Watson, 2003), α -ионон (Shao et al., 2013). Данные соединения были выделены среди ЛНОС рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного, причем некоторые из них в значительных количествах. Так, например, содержание β -ионона в роголистнике из Квадратного пруда составляло от 2.07 до 4.42%, а в рдесте до 1.56%. Поэтому *P. obtusifolius* и *C. demersum* возможно использовать для уменьшения процесса «цветения» воды совместно с физико-химическими методами. Гексаналь, цитраль, 2-тридеканон, выявленные в составе эфирных масел водных макрофитов, в том числе и среди ЛНОС исследованных нами растений, участвуют в формировании механизмов защиты растений от растительноядных организмов (Семенов, 2000; Arimura et al., 2009; Jüttner et al., 2010) и патогенных микроорганизмов (Porter, Wilkins, 1998).

Защитные, отпугивающие и антибактериальные свойства описаны для 2-гептанона и его производных (Balderrama et al., 2002), в том числе у красных водорослей (Nylund et al., 2008; 2010).

Важное аллелопатическое значение имеют спирты. Природный маноол интересен и как ценный ресурс для отраслей медицины и парфюмерии (Dimas et al., 1998; Sell, 2003). Известно, например, что маноол, обладает

противовирусной (Овчинников, 1987), противораковой (Pratsinis et al., 2010) активностью. Он содержится во многих растениях, особенно в хвойных. Коммерческая добыча природного маноола осуществляется из древесины желтой сосны *Halocarpus biformis* (Hook.) C. J. Quinn (старое название *Dacrydium biforme* (Hook.) Pilger), содержащей значительное количество этого вещества (Hosking, Brandt, 1935; McDonald, 1954; Merz, Ritchie, 1970; Douglas, 1993).

В исследованных образцах *P. obtusifolius* содержание маноола в эфирном масле было очень высоким (до 66%) (табл. 1, 4), и, в целом, возрастало от начала вегетации (июнь) к концу августа почти в 2 раза, достигая 356 мкг/г сух.в. (табл. 4), к 22 сентября его количество в растении уже составляло 762 мкг/г сух.в. По классификации, приводимой Тимофеевым Н. П. (2003), рдест туполистный по способности к биосинтезу маноола может быть отнесен к группе растений-концентраторов с высоким содержанием данного соединения. Это выше, чем во многих других растениях, в которых был обнаружен маноол (Байкова и др., 2002; Ristic et al., 2008; Saïdana et al., 2008; Ens et al., 2009; Taarit et al., 2010), даже в таком хорошем концентрате этого вещества, как *Salvia officinalis* L., где его содержание в эфирном масле из различных географических регионов составляет от 7.9 до 20.9% (Bernotienė et al., 2007), сопоставимо с его содержанием в некоторых хвойных растениях (0.12 – 0.40 мг/г сух.в.) (Tomilin et al., 2000), но существенно ниже, чем в *H. biformis* (до 6 мг/г сух. в.) (Hosking, Brandt, 1935). В связи с этим, в течение всего периода вегетации растений, возможно выделять из них природный маноол для медицины и парфюмерии (Dimas et al., 1998; Sell, 2003).

Фитол (одно из 15 преобладающих ЛНОС рдеста) выполняет защитную/отпугивающую роль против водных насекомых и растительных личинок (Venci, Morton, 1998). А в статье Inoue Y. с коллегами сообщается о противомикробной активности фитола (Inoue et al., 2005).

Эфиры играют существенную роль в аллелопатических взаимодействиях водных растений с другими гидробионтами. Многие из них обладают альгицидной активностью, а также подавляют рост и развитие цианобактерий, например α - и β -азароны (Pollio et al., 1993), дигидроактинидиолид (рис. 24). Дигидроактинидиолид известен как активный аллелохимический агент, выделяемый в воду *Eleocharis spp.* и ингибирующий рост других водных растений, особенно водорослей (Ashton et al, 1984). Он был нами выявлен в составе эфирных масел рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного. Кроме того, он содержится во многих наземных растениях (Bouvier et al, 2005; Iordache et al, 2009).

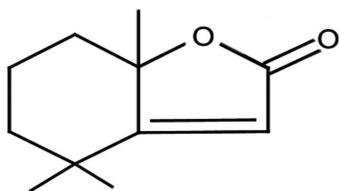


Рис. 24. Аллелохимическое соединение из состава метаболитов *C. demersum*: дигидроактинидиолид.

Эфиры, входящие в состав эфирных масел макрофитов, обладают и антибактериальной активностью, таким соединением, например, является 2-пентилфуран (Forlani et al., 2011).

Среди ЛНОС рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного достаточно высока была доля фталатов (1.36 – 3.55% и 4.17 — 10.66% соответственно), которые участвуют в аллелопатических взаимодействиях (Roy et al., 2006; Xuan et al., 2006). Из водных растений кроме нашей работы фталаты выявлены, например, у *Ceratophyllum demersum* L. произрастающего на территории Китая, причем их содержание в эфирном масле из китайского образца, полученном также из сухих растений, было более высоким (14.36 – 16.40%) (Qiming et al., 2006а, 2006б), чем у исследованных нами растений. В эфирном масле, полученном из сырого *C.*

demersum, доля фталатов может достигать 44.1%. Ингибирующее действие такого масла против *Microcystis aeruginosa* было более высоким, чем у масла из высушенных растений, очевидно, именно за счет фталатов (Qiming et al., 2006б). И в связи с тем, что роголистник тёмно-зелёный — растение — космополит и встречается в пресных водоемах всего земного шара в больших количествах (Шамров, 1981), то из данного макрофита можно получать альгициды природного происхождения, являющиеся более безопасными для водных экосистем, чем химически синтезированные альгициды не имеющие природных аналогов.

Фитоэкдистероиды являются производными стерана (циклопентапергидрофенантрена) и выполняют важную роль в защите растений от поедания ракообразными и насекомыми т. к. являются гормонами линьки. В эфирном масле рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного суммарные концентрации производных стерана составляли от 2.64 до 69.4 мкг/г сух. в. и 0.1-0.3 мкг/г сух. в. соответственно. Поэтому из рдеста туполистного можно получать инсектициды природного происхождения.

В эфирном масле водных растений содержатся и различные кислоты. Некоторые жирные кислоты, такие как нонановая, цис-6-октадеценовая и цис-9-октадеценовая могут подавлять рост и размножение цианобактерий (Aliotta et al., 1990; Nakai et al., 2005).

Информация по применению некоторых соединений входящих в состав эфирных масел рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного представлена в таблице 11.

Таблица 11.

Область применения некоторых соединений входящих в состав эфирных масел рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного.

Соединение	Область применения	Источник
маноол	противовирусная активность; противораковая активность; парфюмерия	Овчинников, 1987 Pratsinis et al., 2010 Dimas et al., 1998; Sell, 2003
биформен	медицинское значение	Kagawa et al., 1993
каурен	фунгицидная активность	Рощина, Рощина, 1989
β -эудесмол	медицинское значение	Miyazawa et al., 1996; Tsunekia et al., 2005
α -ионон, β -ионон	альгицидная активность; ингибируют рост и развитие цианобактерий; парфюмерная промышленность; медицина	Shao et al., 2013; Watson, 2003; Семенов, 2000
α - и β -азароны	альгицидная активность	Pollio et al., 1993
β -циклоцитраль	альгицидная активность; ингибирует рост и развитие цианобактерий	Chang et al., 2011
6-метил-5-гептен- 2-он	альгицидная активность; ингибирует рост и развитие цианобактерий	Watson, 2003
дигидроактини- диолид	ингибирует рост других водных растений;	Ashton et al, 1984

2-пентилфуран	антибактериальная активность	Forlani et al., 2011
фитол	защитная/отпугивающая роль против водных насекомых и растительоядных личинок; антибактериальная активность	Venci, Morton, 1998 Inoue et al., 2005
фталаты	антибактериальная, фунгицидная активность; ингибируют рост и размножение цианобактерий	Roy et al., 2006; Qiming et al., 2006б
фитоэксдистероиды	защитное приспособление против консументов	Семенов, 2000
гексаналь	фунгицидная активность; антимикробная активность; защита от растительоядных организмов;	Рощина, Рощина, 1989; Fall et al., 1999; Arimura et al., 2009
2-гептанон	антибактериальные свойства	Balderrama et al., 2002
карвакрол	антимикробная активность	Burt, 2007
терпинен-4-ол, α -терпинеол	антибактериальная, противогрибковая активность	Carson, Riley, 1995
1,8-цинеол	бактерицидное действие	Семенов, 2000
β – кариофиллен оксид	фунгицидная активность	Cakir et al., 2004
нонановая, цис-6-октадеценовая, цис-9-октадеценовая кислоты	ингибируют рост и размножение цианобактерий	Aliotta et al., 1990; Nakai et al., 2005

линалоол	антибактериальная, противогрибковая активность	Carson, Riley, 1995 Alviano et al., 2005
d-лимонен	медицинское значение	Баширова, 2003
скавален	антиоксидант	Ko et al, 2002
Δ -кадинен	инсектицидная активность	Рощина, Рощина, 1989
цис-жасмон и вещества группы жасмонатов	инсектицидная активность; информационные медиаторы	Pickett et al, 2005; Birkett et al, 2000; Arnold et al, 2001; Wittstock et al, 2002; Bi et al, 2007
α -копаен	фунгицидная активность	Cheng et al., 2005
гермакрен-D	фунгицидная активность	Cheng et al., 2005
β -селинен	инсектицидная активность	Рощина, Рощина, 1989
диметил трисульфид	фунгицидная активность	Kim et al., 2004; Zhang et al., 2013
(-) γ -кадинен	аттрактант	Семенов, 2000
агароспирол	медицинское значение	Okukawa et al., 2000
β -кариофиллен	противораковая активность	Legault, Pichette, 2007
α -гумулен	противораковая активность	Legault, Pichette, 2007

Таким образом, многие вторичные метаболиты рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного или их синтетические аналоги могут быть использованы для получения природных альгицидных, фунгицидных, инсектицидных препаратов. С их помощью, вероятно, возможно ингибировать рост и развитие фитопланктона и, следовательно, предотвращать или

регулировать процессы «цветения» воды. И в статье (Hu, Hong, 2008) предлагается использовать метаболиты водных макрофитов для подавления роста и развития фитопланктона. Здесь необходимо отметить, что метаболиты растений, являются естественными альгицидами и, в отличие от синтетических химических веществ, менее токсичны для других водных организмов (Hu, Hong, 2008). Однако, при использовании метаболитов растений необходимо учитывать, что одно и то же вещество в разных концентрациях может обладать стимулирующим или ингибирующим эффектом. Физические методы регулирования численности фитопланктона (механическая очистка, воздействие ультразвуком и ультрафиолетовое облучение), как правило, не дают 100% требуемого эффекта, требуют дорогостоящего оборудования и энергозатратны (Курашов, Крылова, 2013). Поэтому необходимо использовать биологические технологии очистки воды совместно с физико-химическими методами и соотношение между ними должно определяться типом сточных вод и характером загрязнений (Золотухин, 2001).

Возможно использование эфирных масел в медицине (Kagawa et al., 1993; Dimas et al., 1998; Sell, 2003, Neerman, 2003; Pratsinis et al., 2010 и др.) и пищевой промышленности (Burt, 2007).

Таким образом, высшие водные растения как возобновляемые биоресурсы, могут выступать в качестве источников биологически активных веществ. В связи с этим в настоящее время необходимо продолжать исследования по выделению, идентификации и синтезу природных веществ, в том числе входящих в состав эфирных масел водных растений.

ВЫВОДЫ.

1. В компонентном составе эфирного масла *P. obtusifolius* и *C. demersum* выявлено большое количество летучих компонентов принадлежащих к различным классам низкомолекулярных органических соединений. Всего в составе эфирного масла *P. obtusifolius* обнаружено 163 соединения, из которых идентифицировано 150, а в составе *C. demersum* - 295 компонентов, из которых идентифицировано 270.

2. У *P. obtusifolius* и *C. demersum* качественный состав и количественное содержание летучих низкомолекулярных органических соединений изменяется в зависимости от фазы развития растений. У *C. demersum* биосинтез ЛНОС наиболее активно идет в начальный период вегетации. К середине вегетации концентрация эфирного масла в сухих растениях снижается более, чем на порядок, и остается на этом уровне в дальнейшем. У *P. obtusifolius* суммарная концентрация компонентов эфирного масла меняется в течение сезона, несколько повышаясь в период вегетации после плодоношения.

3. Компонентный состав эфирных масел водных макрофитов меняется в зависимости от условий произрастания растений. Различия в составе выражаются в наличии/отсутствии некоторых компонентов и процентном соотношении соединений.

4. Основным компонентом эфирного масла рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного в процессе вегетации являлся маноол, ценный ресурс для отраслей медицины и парфюмерии, содержание которого у исследованных макрофитов увеличивалось в онтогенезе. Наиболее высокие концентрации данного соединения обнаружены у *P. obtusifolius*, составлявшие от 76 до 680 мкг/г. сух. вещества в зависимости от условий обитания и фазы вегетации растений. В больших количествах среди ЛНОС исследованных макрофитов содержались и другие ценные соединения, в частности биформен и фитол.

5. Компоненты эфирного масла исследованных макрофитов не только активно накапливаются и расходуются в тканях и органах растений, но и выделяются ими в воду в виде внеклеточных метаболитов. Концентрация основного компонента эфирного масла *P. obtusifolius*, маноола, в воде внутри его зарослей в разные сроки вегетации составляла от 0.012 мг/л до 2.040 мг/л. Биформен так же активно выделялся рдестом в окружающую среду, но при выделении из растений трансформировался в скларен, его содержание в воде изменялось от 0.039 до 0.094 мг/л. Концентрация маноола в воде внутри зарослей *C. demersum* составляла от 0.055 мг/л до 0.640 мг/л.

6. ЛНОС рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного обладают антибактериальной активностью в отношении как грамотрицательной (модельные объекты *Escherichia coli* и *Pseudomonas aeruginosa*), так и грамположительной микрофлоры (модельный объект *Bacillus subtilis*).

7. ЛНОС исследованных растений являются биологически активными и выполняют разнообразные функции в регулировании развития водных растений с учетом состояния окружающей среды и взаимоотношений с другими водными организмами.

8. Исследованные водные растения, как возобновляемые биоресурсы, могут выступать в качестве источников ценных в практическом отношении низкомолекулярных органических соединений для различных отраслей. Вторичные метаболиты рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного или их синтетические аналоги могут быть использованы для получения природных антибактериальных, альгицидных, фунгицидных и инсектицидных препаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

Айзенман Б. Е. Фитонциды и антибиотики высших растений / Б. Е. Айзенман, В. В. Смирнов, А. С. Бондаренко. - Киев: Наукова думка, 1984. - 280 с.

Алексеева Л. И. Динамика содержания экидистероидов у *Ajuga reptans* L. на северной границе ее ареала / Л. И. Алексеева, Л. В. Тетерюк, В. В. Володин, Н. А. Колегова // Растительные ресурсы. - 1998. Т. 34, вып. 4. - С. 56-61.

Байкова Е. В. Компонентный состав эфирных масел некоторых видов рода *Salvia* L., выращенных в условиях Новосибирска (Россия) / Е. В. Байкова, Е. А. Королук, А. В. Ткачев // Химия растительного сырья. - 2002. - № 1. - С. 37-42.

Баланда О. В. Алкалоиды кубышки желтой (*Nuphar lutea* (L.) Smith.) и их влияние на жизнедеятельность цианобактерий и водорослей / О. В. Баланда, В. А. Медведь, А. И. Сакевич // Гидробиологический журнал. - 2004. Т. 40, № 4. - С. 106-118.

Бахтенко Е. Ю. Многообразие вторичных метаболитов высших растений: учебное пособие / Е. Ю. Бахтенко, П. Б. Курапов. - Вологда: Вологодский государственный педагогический университет, 2008. - 263 с.

Баширова Р. М. Вторичные метаболиты растений: учебное пособие / Р. М. Баширова. - Уфа: РИО БашГУ, 2003. - 187 с.

Баширова Р. М. Вторичные метаболиты растений и методы их исследования: учебное пособие / Р. М. Баширова, Т. И. Плеханова, А. Ю. Касьянова, Н. В. Кудашкина. - Уфа: Здравсохранение Башкортостана, 2004. - 167 с.

Белавская А. П. Водные растения России и сопредельных государств / А. П. Белавская // Тр. Ботанического института им. В. Л. Комарова. Рос. акад. наук. - СПб.: Б. и.- 1994, вып. 11. - 64 с.

Белянин М. Л. Биологически активные вещества природного происхождения / М. Л. Белянин. - Томск: издательство Томского политехнического университета, 2010. - 144 с.

Березовская Т. Г. Полыни Сибири: систематика, экология, химия, хемосистематика, перспективы использования / Т. Г. Березовская, В. П. Амельченко, И. М. Красноборов, Е. А. Серых. - Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1991. - 125 с.

Бодруг М. В. Дикорастущие эфирномасличные растения Молдавии. Кишинев: Штиинца, 1981 - 141 с.

Большая медицинская энциклопедия в 30 т. - 3-е изд. / под ред. Б. В. Петровского. - М.: Советская энциклопедия, 1974 - 1 т. - 576 с.

Большая советская энциклопедия в 30 т. - 3-е изд. / под ред. А. М. Прохорова. - М.: Советская энциклопедия, 1976 - 25 т. - 600 с.

Большая советская энциклопедия в 30 т. - 3-е изд. / под ред. А. М. Прохорова. - М.: Советская энциклопедия, 1978 - 30 т. - 632 с.

Бухарин О. В. Патогенные бактерии в природных экосистемах / О. В. Бухарин, В. Ю. Литвин. - Екатеринбург: УрО РАН, 1997. - 277 с.

Бухарин О. В. Ассоциативный симбиоз / О. В. Бухарин, Е. С. Лобакова, Н. В. Немцева, С. В. Черкасов. - Екатеринбург: УрО РАН, 2007. - 264 с.

Бухарин О. В. Микробиология биоценозов природных водоемов / О. В. Бухарин, Н. В. Немцева. - Екатеринбург : УрО РАН, 2008. - 151 с.

Васильева И. С., Пасешниченко В. А. Биологически активные изопреноиды растений, их биосинтез и значение для биотехнологии (обзор) / И. С. Васильева, В. А. Пасешниченко // Прикладная биохимия и микробиология. - 1999, т. 35. - № 5. - С. 521-535

Вичканова С. А. Ингибиторы микроорганизмов среди природных веществ растительного происхождения: автореф. дис. ... д-ра. биол. наук / Вичканова Серафима Александровна. - М., 1981. - 48 с.

Голубев Б. П. Экологические аспекты распространения вибрионов эльтор в объектах окружающей среды: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.30 / Голубев Борис Павлович. - Саратов, 1993. - 20 с.

Горбенко Ю. А. Экология перифитонных микроорганизмов: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.18 / Горбенко Юрий Александрович. - Киев, 1973. - 45 с.

Горленко В. М. Экология водных микроорганизмов / В. М. Горленко, Г. А. Дубинина, С. И. Кузнецов. - Москва: Наука, 1977. - 288 с.

ГОСТ 24027.2—80 Сырье лекарственное растительное. Методы определения влажности, содержания золы, экстрактивных и дубильных веществ, эфирного масла. - М.: издательство стандартов, 1980. - 31 с.

Государственная фармакопея Российской Федерации. XII издание, часть 1 / М-во здравоохранения Рос. Федерации. - М.: издательство «Науч. Центр экспертизы средств медицинского применения». - 2008. - 704 с.

Государственный реестр лекарственных средств [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://grls.rosminzdrav.ru/>

Гуревич Ф. А. Фитонциды водных и прибрежных растений, их роль в гидробиоценозах: автореферат дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.18 / Гуревич Файва Абрамович. - Иркутск, 1973. - 30 с.

Гуревич Ф. А. Роль фитонцидов во внутренних водоемах / Ф. А. Гуревич //Водные ресурсы. - 1978. - № 2. - С. 133-142.

Гуринович Л. К., Пучкова Т. В. Эфирные масла: химия, технология, анализ и применение / Л. К. Гуринович, Т. В. Пучкова. - М.: Школа Косметических Химиков, 2005. - 192 с.

Дроботько В. Г. Антимикробные вещества высших растений / Б. Е. Айзенман, М. О. Швайгер, С. И. Зелепуха, Т. П. Мандрик; отв. ред. В. Г. Дроботько. - Киев: Изд-во Акад. наук УССР, 1958. - 336.

Запрометов М. Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях / М. Н. Запрометов. - М.: Наука, 1993. - 271 с.

Зарубина Л. А. Химический состав и антимикробные свойства эфирного масла из наземной части *Artemisia Glauca* Pall. / Л. А. Зарубина, Г. И. Калинкина, А. Д. Дембицкий // Растительные ресурсы. – 1993. - т. 29, вып. 3. - С. 70-73.

Затула Д. Г. Роль В. Г. Дроботко в развитии учения о фитонцидах / В кн.: Фитонциды (биологическое значение, свойства и применение) / Д. Г. Затула. - Киев: Наукова думка, 1973. - 112 с.

Затыльникова О. А. Компонентный состав эфирных масел *Iris pseudacorus* (Iridaceae) / О. А. Затыльникова, В. Н. Ковалев, С. В. Ковалев // Растительные ресурсы. - 2013. - т. 49, вып. 2.- С. 233-240.

Звягинцев Д. Г. Растения как центры формирования бактериальных сообществ / Д. Г. Звягинцев, Т. Г. Добровольская, Л. В. Лысак // Журнал общей биологии 1993. - т. 54. - № 2.- С. 183 – 200.

Золотухин И. А. Растения как средство очистки олиготрофных сточных и природных вод. Пермь: ПГПУ, 2001. - 235 с.

Иллюстрированный определитель растений Средней России: в 3 т. /И. А. Губанов, К. В. Киселева, В. С. Новиков, В. Н. Тихомиров. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: Товарищество научных изданий КМК, Институт технологических исследований. - 2002. - т. 1. - 526 с.

Иллюстрированный определитель растений Ленинградской области / под ред. А. Л. Буданцева, Г. П. Яковлева. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006.- 799 с.

Ипатов В. С. Фитоценология: учебное пособие / В. С. Ипатов, Л. А. Кирикова. - СПб: изд-во СПбГУ, 1997. - 316 с.

Казаринова Н. В. Компонентный состав и антибиотическая активность эфирных масел *Origanum vulgare* L., произрастающей в некоторых регионах Западной Сибири / Н. В. Казаринова, К. Г. Ткаченко, Л. М. Музыченко, Н. Г. Сафонова, А. В. Ткачев, Е. А. Королюк // Растительные ресурсы. – 2002. - т. 38, вып. 2. - С. 99-103.

Казаринова Н. В. Опыт использования эфирного масла *Origanum vulgare* L. и *Origanum tythanthum gontsch* для борьбы с внутрибольничными инфекциями / Н. В. Казаринова, К. Г. Ткаченко, Л. М. Музыкаченко, А. М. Шургая // Растительные ресурсы. - 1999. - т. 35, вып. 4. – С.51-57.

Кашина А. А. Фармакогностическое изучение восковицы обыкновенной *Myrica gale* L.: дис. ... канд. фарм. наук: 15.00.02 / Кашина Анастасия Алексеевна. - Санкт-Петербург, 2009. – 159.

Кинтя П. К. Терпеноиды растений / П. К. Кинтя, Ю. М. Фадеев, Ю. А. Акимов. - Кишинев: Штиинца, 1990. - 151 с.

Кирпенко Н. И. Экзогенные метаболитные комплексы двух синезеленых водорослей в моно- и смешанной культурах / Н. И. Кирпенко, Е. А. Курашов, Ю. В. Крылова // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біол. - 2010. - № 2(43). - С. 241- 244.

Коган Ш. И. Роголистник – ингибитор синезеленых водорослей в водоемах / Ш. И. Коган, А. Н. Крайнюкова // Первая Всесоюзная конференция по высшим водным и прибрежно-водным растениям (тезисы докл.). - Борок: Ин-т биологии внутр. вод, 1977. - С. 113-115.

Кокин К. А. Экология высших водных растений / К. А. Кокин. - М.: изд-во Моск. Ун-та, 1982. - 180 с.

Королюк Е.А. Химический состав эфирного масла представителей рода *Galatella* Cass. (*Asteraceae* Dumort.) из Западной Сибири / Е.А. Королюк, Л.М. Покровский, А.В. Ткачев // Химия растительного сырья. - 2002. - № 1. - С. 5–18.

Кудряшов М. А. Гидрботаника: учебное пособие / М. А. Кудряшов, А. П. Садчиков. - М.: изд. центр «Академия», 2005. - 240 с.

Курашов Е. А. Компонентный состав летучих низкомолекулярных органических веществ *Nuphar lutea* (*Nymphaeaceae*) в начале вегетационного сезона / Е. А. Курашов, Ю. В. Крылова, А. М. Чернова, Г. Г. Митрукова // Вода: химия и экология. – 2013. - № 5. - С. 67-80.

Курашов Е. А. Низкомолекулярные вторичные метаболиты высших водных растений и перспективы управления автотрофным звеном в водных экосистемах / Е. А. Курашов, Ю. В. Крылова // Биология внутренних вод: Материалы XV Школы-конференции молодых учёных (Борок, 19–24 октября 2013 г.). Кострома: ООО «Костромской печатный дом», 2013. - С. 29-60.

Курашов Е.А. Летучие низкомолекулярные метаболиты водных макрофитов, произрастающих на территории России, и их роль в экосистемах /Е. А. Курашов, Ю. В. Крылова, Г. Г. Митрукова, А. М. Чернова // Сибирский экологический журнал. - 2014. - № 4. – С. 573-591.

Ладыгина Е. Я. Химический анализ лекарственных растений: учебное пособие / Е. Я. Ладыгина, Л. Н. Сафронич, В. Э. Отряшенкова; под общ. ред. Н. И. Гринкевич, Л. Н. Сафронич. - М.: Высш. Школа, 1983. - 176 с.

Лекарственные средства из растений: монография / С. А. Вичканова, В. К. Колхир, Т. А. Сокольская и др.; Всерос. НИИ лекарств. и аромат. растений (ВИЛАР). - Москва: АДРИС, 2009. – 431 с.

Лукнер М. Вторичный метаболизм у микроорганизмов, растений и животных / М. Лукнер; пер. с англ. В. А. Пасешниченко, И. Р. Циммерман; под ред. М. Н. Запрометова. - Москва: Мир, 1979. - 548 с.

Макрофиты – индикаторы изменений природной среды / Д. В. Дубына, С. М. Стойко, К. М. Сытник, Л. А. Тасенкевич, Ю. Р. Шеляг-Сосонко, С. Гейны, З. Гроудова, Ш. Гусак, Г. Отягелова, О. Эржабкова; под ред. С. Гейны, К. М. Сытник. - Киев: Наукова думка, 1993. – 434 с.

Матвеев В. И. Экология водных растений: учебное пособие / В. И. Матвеев, В. В. Соловьева, С. В. Саксонов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2005. - 282 с.

Мережко А. И. Эколого-физиологические исследования высших водных растений в связи с их ролью в самоочищении водоемов / А. И. Мережко // Первая Всесоюзная конференция по высшим водным и прибрежно-водным растениям (тезисы докл.). - Борок: Ин-т биологии внутр. вод, 1977. - С. 125-127.

Метейко Т. Я. Метаболиты высших водных растений и их роль в гидробиоценозах (обзор) / Т. Я. Метейко // Гидробиологический журнал. - 1978. - т. XVII, № 4. - С. 3-14.

Морозов Н. В. Загрязнение водоемов стоками животноводческих комплексов и биометоды их обеззараживания / Н. В. Морозов, М. М. Телитченко // Самоочищение воды и миграция загрязнений по трофической цепи. под ред. Телитченко М. М. - М.: Наука, 1984. - С. 22-29.

МУК 4.12.1890-04 Методические указания по определению чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам. - М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 74 с.

Овчинников Ю. А. Биоорганическая химия / Ю. А. Овчинников. - М.: Просвещение, 1987. - 815 с.

Немцева Н. В. Микробиологическая характеристика биоценологических взаимоотношений гидробионтов и ее значение в санитарной оценке водоемов: автореф. дис... д. м. н.: 03.00.07 / Н. В. Немцева. - Челябинск, 1998.- 38 с.

Нетрусов А. И. Экология микроорганизмов: учебное пособие / А. И. Нетрусов, Е. А. Бонч-Осмоловская, В. М. Горленко; под ред. проф. А. И. Нетрусова. – М.: Academia, 2004. – 266 с.

Николаевский В. В., Еременко А. Е., Иванов И. К. Биологическая активность эфирных масел / В. В. Николаевский, А. Е. Еременко, И. К. Иванов. - М.: Медицина, 1987. – 144 с.

Николаевский В. В. Ароматерапия: справочник / В. В. Николаевский. - М.: Медицина, 2000. – 336 с.

Носов А. М. Функции вторичных метаболитов растений *in vivo* и *in vitro*. / А. М. Носов // Физиология растений. – 1994. - т. 41, № 6. - С. 873-878.

Одум Ю. П. Экология: в 2 т. / Ю. П. Одум, перевод с англ. Ю. М. Фролова; под ред. В. Е. Соколова. - М.: Мир, 1986. – 1 т.– 328 с.

Палей Р. В. Химический состав эфирного масла *Achillea millefolium* L., полученного методом гидродистилляции / Р. В. Палей, В. В. Племенков, Н. П.

Артемова, Ю. В. Чугунов, М. Г. Фазлыева // Растительные ресурсы. – 1996. - т. 32, вып. 4. - С. 37-43.

Племенков В. В. Введение в химию природных соединений: учебное пособие / В. В. Племенков. - Казань: Б. и., 2001. – 374 с.

Племенков В. В. Химия изопреноидов: учебное пособие / В. В. Племенков. - Калининград [и др.]: Изд-во Алтайского университета, 2007. – 320 с.

Растительные ресурсы России: дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность: в 2 т. / отв. ред. А. Л. Буданцев. - СПб.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. – 1 т. - 421 с.

Растительные ресурсы России и сопредельных государств. Цветковые растения, их химический состав, использование: Семейства *Butomaceae-Turphaceae* / отв. ред. П. Д. Соколов. - СПб.: Наука. Санкт-Петербург. изд. фирма, 1994. - 271 с.

Ратушняк А. А. Эколого-физиологические аспекты регуляции гомеостаза водных биосистем разного уровня организации с участием фитогидроценоза: дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.16 / Ратушняк Анна Александровна. - Нижний Новгород, 2002. - 280 с.

Ревина Т. А. Содержание экистерона в папоротниках горных районов Южной Сибири / Т. А. Ревина, И. И. Гуреева // Растительные ресурсы. - 1985. - т. 21, вып. 1. - С. 75–78.

Розенцвет О. А. Эколого-биохимический подход к изучению липидов высших водных растений / О. А. Розенцвет, С. В. Саксонов, В. Г. Козлов, Н. В. Конева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2000. - т. 2, № 2. - С. 358-366.

Рощина В. Д. Выделительная функция высших растений / В. Д. Рощина, В. В. Рощина. - М.: Наука, 1989. – 214 с.

Рутовский Б. Н. Эфирные масла: Т. 1 / Б.Н. Рутовский. - Москва; Ленинград: Гос. изд-во с.-х. и колхоз. кооп. лит., 1931. – 594 с.

Сакевич А. И. Экзометаболиты пресноводных водорослей / А. И. Сакевич. - Киев: Наукова думка, 1985. – 200 с.

Самусенко А. Л. Сравнительная оценка антиоксидантной активности эфирных масел пряно-ароматических растений методом капиллярной газовой хроматографии / А. Л. Самусенко // Химия растительного сырья. – 2010. - № 3. – С. 107-113.

Семенов А. А. Очерк химии природных соединений / А. А. Семенов. - Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 664 с.

Синельников В. Е. Механизм самоочищения водоемов / В. Е. Синельников. - М.: Стройиздат, 1980. - 112 с.

Сиренко Л. А. Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ / Л. А. Сиренко. - Киев: Наукова думка, 1989. - 202 с.

Степень Р. А., Репях С. М. Летучие терпеноиды сосновых лесов / Р. А. Степень, С. М. Репях. - Красноярск: СибГТУ, 1998. - 396 с.

Сур С. В. Состав эфирных масел лекарственных растений / С. В. Сур // Растительные ресурсы. - 1993. - т. 29, вып. 1. - С. 98-117.

Танасиенко Ф. С. Эфирные масла: содержание и состав в растениях / Ф. С. Танасиенко - Киев: Наукова думка, 1985. - 263 с.

Тимофеев Н.П. Достижения и проблемы в области изучения, использования и прогнозирования биологической активности экдистероидов / Н. П. Тимофеев // Бутлеровские сообщения. - 2006. Т.8, № 2. - С. 7-35.

Ткаченко К. Г. Компонентный состав эфирного масла *Origanum vulgare* L., выращиваемой в Ленинградской области / К. Г. Ткаченко, А. В. Ткачев // Растительные ресурсы. – 2002. - т. 38, вып. 1. - С. 97-101.

Ткачев А. В. Исследование летучих веществ растений / А. В. Ткачев. – Новосибирск. Издательско-полиграфическое предприятие «Офсет». 2008. – 969 с.

Токин Б. П. Целебные яды растений / Б. П. Токин. - Л.: Лениздат, 1967. - 288 с.

Тропникова И. В. Содержание и состав эфирных масел видов рода *Nepeta* L. / И. В. Тропникова, А. Л. Буданцев, И. Г. Зенкевич // Растительные ресурсы. – 1998. - т. 34, вып. 4. - С. 84-103.

Тропникова И. В. Компонентный состав эфирных масел некоторых видов рода *Nepeta* L., выращиваемых в Ленинградской области, и их антимикробная активность / И. В. Тропникова, А. Л. Буданцев, И. Г. Зенкевич, Т. С. Потехина // Растительные ресурсы. – 1999. - т. 35, вып. 3. - С. 1-10.

Тульчинская В. П. Антибактериальная активность эфирных масел и их компонентов в отношении бруцелл / В. П. Тульчинская, А. П. Дегтярева, Т. И. Фролов; под ред. Дроботько // кн. Фитонциды в народном хозяйстве. - Киев: Наукова думка, 1964. - 351 с.

Тютерева Е. В. Реакции лишнего хлорофилла «b» мутанта ячменя chlorina 3613 на пролонгированное снижение освещенности. Динамика каротиноидов в хлоропластах листьев / Е. В. Тютерева, О. В. Войцеховская // Физиология растений. - 2011. - Т. 58, №2. - С. 186-194.

Усенко О. М. Аллелопатическое влияние высших водных растений на функциональную активность планктонных водорослей / О. М. Усенко, А. И. Сакевич // Гидробиологический журнал. – 2005. - т. 41, № 1. - С. 55-67.

Усов А. П. Химия душистых и биологически активных веществ. Терпеноиды: учебное пособие / А. П. Усов, М. Г. Крапивина. - Краснодар: издательство КубГТУ, 2003. - 124 с.

Упадышев М. Т. Роль фенольных соединений в процессах жизнедеятельности садовых растений / М. Т. Упадышев. - М.: Изд. Дом МСП, 2008. - 320 с.

Фучеджи О. А. Биоценотическая активность гликополимеров и состав основных метаболитов пресноводных высших растений в условиях загрязнения

водоема: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Фучеджи Оксана Александровна. - Саратов, 2008. – 156 с.

Хирная А. Н. Влияние водной среды на биохимический состав высшей водной растительности / А. Н. Хирная // кн. Самоочищение и биоиндикация загрязненных вод. - М.: Наука, 1980. - С. 109-111.

Чернодубов А. И. Эфирные масла сосны: состав, получение, использование / А. И. Чернодубов, Р. И. Дерюжкин. - Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1990. – 109 с.

Чернодубов А. И. Изменчивость компонентного состава эфирных масел хвой *Pinus sylvestris* L. в островных борах юга Русской равнины / А. И. Чернодубов, В. Г. Латыш // Растительные ресурсы. – 1993. - т. 29, вып. 3. - С. 105-112.

Шаварда А. Л. Особенности состава летучих терпеноидов побегов *Ledum palustre* L. (Ленинградская область) / А. Л. Шаварда, В. А. Ханин, Н. А. Медведева, Т. Ю. Данчул, Л. И. Шагова // Растительные ресурсы. – 2004. - т. 40, вып. 3. - С. 87-95.

Шамров И. И. Эмбриология сем. Ceratophyllaceae (роголистниковые) в связи с его систематическим положением: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Шамров И. И. - Л., 1981. - 20 с.

Ширшова Т. И. Химический состав и антибиотическая активность липидных фракций некоторых видов рода *Potamogeton* L. / Т. И. Ширшова, В. В. Володин, Н. А. Колесова, С. А. Бурцева // Растительные ресурсы. – 1999. - т. 35, вып. 2. – С. 69-75.

Ширшова Т. И. Биологически активные вещества в составе водных растений рода *Potamogeton* (Potamogetonaceae) / Т. И. Ширшова, И. Ф. Чадин, В. В. Володин // Успехи современной биологии. - 2012. – т. 132, № 4. – С. 401–415.

Эйноор Л. О. Ботаническая площадка – биоинженерное сооружение / Л. О. Эйноор // Водные ресурсы. – 1990. - № 4.- С. 149-161.

Экологическое обследование водных объектов Санкт-Петербурга до и после проведения очистных мероприятий: отчёт о НИР / Ш. Р. Поздняков, Н. В. Игнатьева, О. А. Павлова, Л. Л. Капустина, О. М. Сусарева, И. В. Иофина, А. Л. Афанасьева, В. А. Щербак, Л. И. Суворова. - Санкт-Петербург: Институт озераведения РАН, 2010. - 171 с.

Эпидемиологические аспекты экологии бактерий /В. Ю. Литвин, А. Л. Гинцбург, В. И. Пушкарева и др.; под ред. С. В. Прозоровского. - М.: Фармарус-Принт, 1997. – 255 с.

Aliotta G. In vitro algal growth inhibition by phytotoxins of *Typha latifolia* L. / G. Aliotta, M. D. Greca, P. Monaco, G. Pinto, A. Pollio, L. Previtiera // J. Chem. Ecol. - 1990. - Vol. 16, № 9. - P. 2637–2646.

Alviano W. S. Antimicrobial activity of *Croton cajucara* Benth linalool-rich essential oil on artificial biofilms and planktonic microorganisms / W. S. Alviano, R. R. Mendonc-Filho, D. S. Alviano, H. R. Bizzo, T. Souto-Padron, M. L. Rodrigues, A. M. Bolognese, C. S. Alviano, M. M. G. Souza // Oral Microbiology and Immunology. - 2005. - № 20. - P. 101–105.

Ambrosio S. R. Minireview. Kaurane and pimarane-type diterpenes from the *Viguiera* species inhibit vascular smooth muscle contractility / S. R. Ambrosio, C. R. Tirapelli, F. B. da Costa, A. M. de Oliveira // Life Sciences. - 2006. - № 79. – P. 925–933.

Angioni A. Chemical Composition, Plant Genetic Differences, Antimicrobial and Antifungal Activity Investigation of the Essential Oil of *Rosmarinus officinalis* L. / A. Angioni, A. Barra, E. Cereti, D. Barile, J. D. Coisson, M. Arlorio, S. Dessi, V. Coroneo, P. Cabras // J. Agric. Food Chem. – 2004. - Vol. 52. – P. 3530-3535.

Arimura G. Chemical and molecular ecology of herbivore-induced plant volatiles: proximate factors and their ultimate functions / G. Arimura, K. Matsui, J. Takabayashi // Plant Cell Physiol. 2009. - Vol. 50, № 5. - P. 911–923.

Arnold T.M. Evidence for methyl jasmonate-induced phlorotannin production in *Fucus vesiculosus* (Phaeophyceae) / T.M. Arnold, N.M. Targett, C.E. Tanner, W.I. Hatch, K.E Ferrari. // J. Phycol. - 2001. - Vol. 37. - P. 1026–1029.

Ashton F.M. Spike-rush (*Eleocharis* spp.): a source of allelopathic for the control of undesirable aquatic weeds / F.M. Ashton, J.M. Ditomasco, L.W.J. Anderson // J. Aquat. Plant Managem. - 1984. - Vol. 22. - P. 52–56.

Balderrama N. Different functions of two alarm substances in the honeybee / N. Balderrama, J. Nunez, F. Guerrieri, M. Giurfa // J. Comp. Physiol. A. - 2002. - Vol. 188. - P. 485–491.

Bankova V. Secondary metabolites of *Ceratophyllum demersum* / V. Bankova, P. Ivanova, R. Christov, S. Popov, St. Dimitrova-Konaklieva // Hydrobiologia. – 1995. - Vol. 316, № 1. - P. 59-61.

Bennett R. N. Tansley Review №.72 Secondary metabolites in plant defence mechanisms / R. N. Bennett, R. M. Wallsgrave // New Phytol. - 1994. - № 127. - P. 617-633.

Berger R.G. Biotransformations in the flavour industry / R.G. Berger, J.A.M. de Bont, G. Eggink, M.M. da Fonseca, M. Gehrke, J.-B. Gros, F. van Keulen, U. Krings, Ch. Larroche, D.J. Leak, M.J. van der Werf // In: Swift, K.A.D. (Ed.), Current Topics in Flavours and Fragrances. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. - 1999. - pp. 139–170.

Bernotienė G. Essential oil composition variability in sage (*Salvia officinalis* L.) / G. Bernotienė, O. Nivinskienė, R. Butkienė, D. Mockutė // CHEMIJA. - 2007. - Vol. 18, № 4. - P. 38–43.

Bi H.H. Rice allelopathy induced by methyl jasmonate and methyl salicylate / H.H. Bi, R.S. Zeng, L.M. Su, M. An, S.M. Luo // J. Chem. Ecol. - 2007. - Vol. 33. - P. 1089-1103.

Birkett M. A. New roles for cis-jasmone as an insect semiochemical and in plant defense / Michael A. Birkett, Colin A.M. Campbell, K. Chamberlain, E. Guerrieri, J. H. Alastair, J. L. Martin, M. Matthes, J. A. Napier, J. Pettersson, J. A.

Pickett, G. M. Poppy, E. M. Pow, B. J. Pye, L. E. Smart, G. H. Wadhams, L. J. Wadhams, M. Christine, C.M. Woodcock. // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. - 2000. - Vol. 97, № 16. - P. 9329–9334.

Boira H. Environmental factors affecting chemical variability of essential oils in *Thymus piperella* L. / H. Boira, A. Blanquer // Biochemical Systematics and Ecology. – 1998. - Vol. 26. - P. 811–822.

Bouvier F. Oxidative tailoring of carotenoids: a prospect towards novel functions in plants / F. Bouvier, J-C. Isner, O. Dogbo, B. Camara // Trends in Plant Science. - 2005. - Vol. 10, № 4. - P. 187-194.

Burt S. A. Antibacterial activity of essential oils: potential applications in food. Ph.D. thesis. / S. A. Burt. // Ridderkerk: Ridderprint Offsetdrukkerij b.v., 2007. – 136 p.

Busatta C. Evaluation of *Origanum vulgare* essential oil as antimicrobial agent in sausage / C. Busatta, A. J. Mossi, M. R. A. Rodrigues, R. L. Cansian, J. V. de Oliveira // Brazilian Journal of Microbiology. – 2007. - Vol. 38. - P. 610-616.

Bushmann P. J. Antibacterial compounds in estuarine submersed aquatic plants / P. J. Bushmann, M. S. Ailstock // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. - 2006. - Vol. 331. – P. 41– 50.

Cakir A. Composition and antifungal activity of essential oils isolated from *Hypericum hyssopifolium* and *Hypericum heterophyllum* / A. Cakir, S. Kordali, H. Zengin, S. Izumi, T. Hirata // Flavour Fragr. J. – 2004. - № 19. – P. 62–68.

Cangiano T. Effect of ent-labdane diterpenes from *Potamogetonaceae* on *Selenastrum capricornutum* and other aquatic organisms / T. Cangiano, M. DellaGreca, A. Fiorentino, M. Isidori, P. Monaco, A. Zarrelli // J. Chem. Ecol. - 2002. - Vol. 28. - P. 1091–1102.

Carson C. F. Antimicrobial activity of the major components of the essential oil of *Melaleuca alternifolia* / C. F. Carson, T. V. Riley // Journal of Applied Bacteriology. – 1995, № 78. – P. 264-269.

Carson C. F. *Melaleuca alternifolia* (Tea Tree) Oil: a Review of Antimicrobial and Other Medicinal Properties / C. F. Carson, K. A. Hammer, T. V. Riley // *Clinical Microbiology Reviews*. – 2006. - Vol. 19, № 1. – P. 50-62.

Chadin I. Ecdysteroid content and distribution in plants of genus *Potamogeton* / I. Chadin, V. Volodin, P. Whiting, T. Shirshova, N. Kolegova, L. Dinan // *Biochemical systematics and ecology*. 2003. - Vol. 31. - P. 407–415.

Chalchat J.-C. Composition of Essential Oil of *Bidens cernua* L., Asteraceae from Serbia / J.-C. Chalchat, S. Petrovic, Z. Maksimovic, M. Gorunovic // *Journal of Essential Oil Research*. - 2009. - Vol. 21. - P. 41-42.

Chang D.-W. Kinetics of cell lysis for *Microcystis aeruginosa* and *Nitzschia palea* in the exposure to β -cyclocitral / D.-W. Chang, M.-L. Hsieh, Y.-M. Chen, T.-F. Lin, J.-S. Chang // *Journal of Hazardous Materials*. - 2011. - № 185. - P. 1214–1220.

Cheng S.-S. Chemical composition and antifungal activity of essential oils from different tissues of Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica*) / S.-S. Cheng, H.-Y. Lin, S.-T. Chang // *J. Agric. Food Chem.* – 2005. - № 53. - P. 614-619.

Christov C. Influence of temperature and methyl jasmonate on *Scenedesmus incrassulatus* / C. Christov, I. Pouneva, M. Bozhkova, T. Toncheva, S. Fournadzieva, T. Zafirova // *Biol. Plant*. - 2001. - Vol. 44. - P. 367–371.

Cosentino S. In-vitro antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian Thymus essential oils / S. Cosentino, C.I.G. Tuberoso, B. Pisano, M. Satta, V. Mascia, E. Arzedi, F. Palmas // *Letters in Applied Microbiology*. – 1999. - Vol. 29.– P. 130–135.

Cowan M. M. Plant products as antimicrobial agents / M. M. Cowan // *Clinical microbiology reviews*. – 1999.- Vol. 12, № 4. - P. 564-582.

Czerpak R. Jasmonic acid affects changes in the growth and some components content in alga *Chlorella vulgaris* / R. Czerpak, A. Piotrowska, K. Szulecka // *Acta Physiologiae Plantarum*. - 2006. - Vol. 28, № 3. - P. 195-203.

DellaGreca M. Isolation and phytotoxicity of apocarotenoids from *Chenopodium album* / M. DellaGreca, C. Di Marino, A. Zarrelli, B. D'Abrosca // J. Nat. Prod. 2004. - Vol. 67. P. 1492–1495.

Dimas C. Cytotoxic activity of labdane type diterpenes against human leukemic cell lines *in vitro* / C. Dimas, C. Demetzos, M. Marsellos, R. Sotiriadou, M. Malamas, D. Kokkinopoulos // Planta Med. - 1998. - Vol. 64. - P. 208–211.

Dinan L. Phytoecdysteroids: biological aspects / L. Dinan // Phytochemistry. 2001. Vol. 57, № 3. P. 325–339.

Dinan L. On the distribution of phytoecdysteroids in plants / L. Dinan, T. Savchenko, P. Whiting // Cellular and molecular life sciences. - 2001. - Vol. 58, № 8. - P. 1121–1132.

Dorman H.J.D. Antimicrobial agents from plants: antibacterial activity of plant volatile oils / H.J.D. Dorman, S.G. Deans // Journal of Applied Microbiology. – 2000. - Vol. 88. – P. 308–316.

Douglas J.A. New crop development in New Zealand / J. A. Douglas // New crops. Wiley, New York. 1993. P. 51-57.

Elakovich S.D. Allelopathic potential of *Nuphar lutea* (L.) Sibth. & Sm. (Nymphaeaceae) / S.D. Elakovich, J.W. Wooten // J. Chem. Ecol. - 1991. - Vol. 17, № 4. - P. 707-714.

Ens E. J. Identification of volatile compounds released by roots of an invasive plant, bitou bush (*Chrysanthemoides monilifera* spp. *rotundata*), and their inhibition of native seedling growth / E. J. Ens, J. B. Bremner, K. French, J. Korth // Biol. Invasions. - 2009. - Vol. 11. - P. 275–287.

Erhard D. Allelopathy in aquatic environments / D. Erhard // Allelopathy. A Physiological Process with Ecological Implications. (Eds: Reigosa, Manuel J.; Pedrol, Nuria; González, Luís). Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2006. – P. 433-450.

Erhard D. Allelopathic activity of *Elodea canadensis* and *Elodea nuttallii* against epiphytes and phytoplankton / D. Erhard, E. M. Gross // Aquatic Botany 2006. - № 85.– P. 203–211.

Fall R. Volatile organic compounds emitted after leaf wounding: On-line analysis by proton-transfer-reaction mass spectrometry / R. Fall, T. Karl, A. Hansel, A. Jordan, W. Lindinger // Journal of geophysical research. - 1999. - Vol. 104. № D13. - P. 15963 – 15974.

Fink P. Ecological functions of volatile organic compounds in aquatic systems / P. Fink // Marine and freshwater behaviour and physiology. - 2007. - Vol. 40. № 3. - P. 155–168.

Fujita E. Bull. The chemistry on diterpenoids in 1969 / E. Bull. Fujita // Inst. Chem. Res., Kyoto Univ. - 1970. Vol. 48, № 6. - P. 294-345.

Graikou K. Chemical composition and biological activity of the essential oil from the wood of *Pinus heldreichii* Christ. var. *leucodermis* / K. Graikou, O. Gortzi, G. Mantanis, I. Chinou // Eur. J. Wood Prod. – 2012. - Vol. 70. - P. 615–620.

Greca M. D. Action of antialgal compounds from *Juncus effuses* L. on *Selenastrum capricornutum* / M. D. Greca, A. Fiorentino, P. Monaco, G. Pinto, A. Pollio, L. Previtiera // J. Chem. Ecol. - 1996. - Vol. 22, № 3. - P. 587–603.

Greca M. D. Antialgal ent-labdane diterpenes from *Ruppia maritime* / M. D. Greca, A. Fiorentino, M. Isidori, P. Monaco, A. Zarrelli // Phytochemistry. - 2000. - Vol. 55. - P. 909–913.

Gross E.M. Allelopathy of aquatic autotrophs / E. M. Gross // Crit. Rev.Plant Sci. - 2003a. - Vol. 22. - P. 313–339.

Gross E. M. Differential response of tellimagrandin II and total bioactive hydrolysable tannins in an aquatic angiosperm to changes in light and nitrogen / E. M. Gross // Oikos. - 2003b. - Vol. 103. - P. 497–504.

Gross E.M. Allelopathic activity of *Ceratophyllum demersum* L. and *Najas marina* ssp *intermedia* (Wolfgang) Casper / E. M. Gross, D. Erhard, E. Ivanyi // Hydrobiologia. – 2003. - Vol. 506, № 1–3. - P. 583–589.

Henry G. E. Antioxidant and Cyclooxygenase Activities of Fatty Acids Found in Food / G. E. Henry, R. A. Momin, M. G. Nair, D. L. Dewitt // J. Agric. Food Chem. – 2002. - Vol. 50. – P. 2231-2234.

Hilt S. *In situ* allelopathic potential of *Myriophyllum vertucillatum* (Haloragaceae) against selected phytoplankton species /S. Hilt, M. G. N. Ghobrial, E. M. Gross // J. Phycol. - 2006. - № 42. - P. 1189–1198.

Ho C.-L. Compositions and antioxidant activities of essential oils of different tissues from *Cryptomeria japonica* D. Don / C.-L. Ho, E. I.-C. Wang, H.-T. Yu, H.-M. Yu, Y.-C. Su // Quarterly journal of forest research. - 2010. - Vol. 32, № 1. P. 63-76.

Hosking J. R. Über den diterpen-alkohol aus dem holz von *Dacrydium biforme* (I. Mitteil.) / J. R. Hosking, C. W. Brandt // Ber. Dtsch. Chem. Ges. - 1935. - № 68. - P. 1311-1316.

Hu H. Algal-bloom control by allelopathy of aquatic macrophytes—A review / H. Hu, Y. Hong // Front. Environ. Sci. Engin. China. - 2008. - Vol. 2, № 4. - P. 421–438.

Hu Z. Aldehyde Volatiles Emitted in Succession from Mechanically Damaged Leaves of Poplar Cuttings / Z. Hu, Y. Shen, Y. Luo, F. Shen, H. Gao, R. Gao // Journal of Plant Biology, 2008. - № 51(4). – P. 269-275.

Huber D.P.W. The role of terpene synthases in the direct and indirect defense of conifers against insect herbivory and fungal pathogens [Электронный ресурс] / D.P.W. Huber, J. Bohlmann // Multigenic and induced systemic resistance in plants. - 2006. – P. 296-313. Режим доступа: DOI: 10.1007/0-387-23266-4_13.

Inoue Y. Biphasic Effects of Geranylgeraniol, Terpenone, and Phytol on the Growth of *Staphylococcus aureus* / Y. Inoue, T. Hada, A. Shiraishi, K. Hirose, H. Hamashima, S. Kobayashi // Antimicrobial agents and chemotherapy. - 2005. - Vol. 49, № 5. - P. 1770–1774.

Iordache A. Characterization of some plant extracts by GC–MS / A. Iordache, M. Culea, C. Gherman, O. Cozar // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. - 2009. - Vol. 267. - P. 338–342.

Jaccard P. Distribution de la flore alpine dans le Bassin des Dranses et dans quelques regions voisines. Bull. Soc. Vaudoise sci. Natur., 1901. V.37. Bd.140. S. 241-272.

Jacobsen D. Variability of invertebrate herbivory on the submerged macrophytes *Potamogeton perfoliatus* / D. Jacobsen, K. Sandjensen // Freshwater Biol. - 1995. - № 34. - P. 357–365.

Jasser I. The influence of macrophytes on a phytoplankton community in experimental condition / I. Jasser // Hydrobiologia. - 1995. - Vol. 306. - P. 21–32.

Jeon S. Lotus (*Nelumbo nucifera*) flower essential oil increased melanogenesis in normal human melanocytes / S. Jeon, N.-H. Kim, B.-S. Koo, J.-Y. Kim, A.-Y. Lee // Experimental and molecular medicine. – 2009. - Vol. 41. - № 7. – P. 517-524.

Jorgensen J. H. Antimicrobial Susceptibility Testing: General Principles and Contemporary Practices /J. H. Jorgensen, M. J. Ferraro // Clinical Infectious Diseases. - 1998. - Vol. 26, № 4. - P. 973-980.

Juttner F. Nor-carotenoids as the major volatile excretion products of *Cyanidium* / F. Juttner // Z. Naturforsch. (Sect. C). - 1979. - Vol. 34. - P. 186–191.

Jüttner F. Odour compounds of the diatom *Cocconeis scutellum*: effects on benthic herbivores living on *Posidonia oceanica* / F. Jüttner, P. Messina, C. Patalano, V. Zupo //Mar. Ecol. Prog. Ser. - 2010. - Vol. 400. - P. 63-73.

Kagawa K. Platelet aggregation inhibitors in a Bhutanese medicinal plant, shug chher / K. Kagawa, K. Tokura, K. Uchida, H. Kakushi, T. Shike, J. Kikuchi, H. Nakai, P. Dorji, L. Subedi // Chemica and pharmaceutica bulletin. - 1993. - Vol. 41. - P. 1604–1607.

Kawasaki W. Volatiles from *Zostera marina* / W. Kawasaki, K. Matsui, Y. Akakabe, N. Itai, T. Kajiwara // Phytochemistry. - 1998. - Vol. 47. - № 1. - P. 27-29.

Kim J. Antibacterial Activity of Some Essential Oil Components against Five Foodborne Pathogens / J. Kim, M. R. Marshall, C.-i Wei // J. Agric. Food Chem. – 1995. - № 43. – P. 2839-2845.

Kim J. W. Antimicrobial Activity of Alk(en)yl Sulfides Found in Essential Oils of Garlic and Onion / J. W. Kim, J. E. Huh, S. H. Kyung, K. H. Kyung // Food Sci. Biotechnol. - 2004. - Vol. 13, № 2. - P. 235 - 239.

Kim Y.-S. Volatile components and antibacterial effects of pine needle (*Pinus densiflora* S. and Z.) extracts / Y.-S. Kim, D.-H. Shin // Food microbiology. - 2005. - Vol. 22. - P. 37–45.

Ko T.-F. Squalene content and antioxidant activity of *Terminalia catappa* leaves and seeds / T.-F. Ko, Y.-M. Weng, R. Y.-Y. Chiou // J. Agric. Food Chem. – 2002. - № 50. - P. 5343-5348.

Korner S. Allelopathic growth inhibition of selected phytoplankton species by submerged macrophytes / S. Korner, A. Nicklisch // J. Phycol. - 2002. - Vol. 38. - P. 862–871.

Koutsoudaki C. Chemical Composition and Antibacterial Activity of the Essential Oil and the Gum of *Pistacia lentiscus* Var. chia / C. Koutsoudaki, M. Krsek, A. Rodger // J. Agric. Food Chem. – 2005. – № 53. - P. 7681-7685.

Lamikanra O. Effect of storage on some volatile aroma compounds in fresh-cut cantaloupe melon / O. Lamikanra, O. A. Richard // J. Agric. Food Chem. - 2002. - Vol. 50. - P. 4043–4047.

Lazarević J. Chemical Analysis of Volatile Constituents of *Berula erecta* (Hudson) Coville subsp. *erecta* (Apiaceae) From Serbia / J. Lazarević, N. Radulović, R. Palić, B. Zlatković // Journal of Essential Oil Research. - 2010. - Vol. 22. - P. 153-156.

Legault J. Potentiating effect of β -caryophyllene on anticancer activity of α -humulene, isocaryophyllene and paclitaxel / J. Legault, A. Pichette // Journal of Pharmacy and Pharmacology. – 2007. - № 59. – P. 1643–1647.

Leu E. Polyphenolic Allelochemicals from the Aquatic Angiosperm *Myriophyllum spicatum* Inhibit Photosystem II / E. Leu, A. Krieger-Liszkay, C. Goussias, E. M. Gross // *Plant Physiol.* – 2002. - № 130(4). – P. 2011–2018.

Li J. The in vitro antioxidant activity of lotus germ oil from supercritical fluid carbon dioxide extraction / J. Li, M. Zhang, T. Zheng // *Food Chemistry.* – 2009. - № 115. – P. 939–944.

Liu X.-T. *ent*-Rosane and Labdane Diterpenoids from *Sagittaria sagittifolia* and Their Antibacterial Activity against Three Oral Pathogens / X.-T. Liu, Q. Pan, Y. Shi, I. D. Williams, H. H.-Y. Sung, Q. Zhang, J.-Y. Liang, N. Y. Ip, Z.-D. Min // *J. Nat. Prod.* – 2006. - № 69. – P. 255-260.

Lorenzetti B. B. Myrcene mimics the peripheral analgesic activity of lemongrass tea / B. B. Lorenzetti, G. E. P. Souza, S. J. Sarti, D. S. Filho, S. H. Ferreira // *Journal of Ethnopharmacology.* – 1991. - № 34. – P. 43-48.

Macías F.A. Allelopathic agents from aquatic ecosystems: potential biopesticides models / F.A. Macías, J.L.G. Galindo, M.D. García-Díaz, J.C.G. Galindo // *Phytochem. rev.* - 2008. - Vol. 7. - P. 155–178.

Magalhaes A. F. Floral scent of *Eleocharis elegans* (Kunth) Roem. & Schult. (Cyperaceae) / A. F. Magalhaes, A. L. T. G. Ruiz, A. Flach, A. D. Faria, E. G. Magalhaes, M. do Carmo E. Amaral // *Biochemical Systematics and Ecology.* - 2005. - № 33. - P. 675-679.

Mann C. M. The outer membrane of *Pseudomonas aeruginosa* NCTC 6749 contributes to its tolerance to the essential oil of *Melaleuca alternifolia* (tea tree oil) / C.M. Mann, S.D. Cox and J.L. Markham // *Letters in Applied Microbiology.* – 2000. - Vol. 30. – P. 294 - 297.

McDonald I.R.C. Manool from *Dacrydium biforme* / I.R.C. McDonald // *Chemistry and Industry in New Zealand.* – 1964. - June. - P.16-17.

Merz D. F. The production of crystalline manool from *Dacrydium biforme* / D. F. Merz, W.J. Ritchie // *New Zealand Journal of Science.* - 1970. - № 13. - P. 268-286.

Mikami Y. Microbial Conversion of Terpenoids / Y. Mikami // Biotechnology and Genetic Engineering Reviews. – 1988. – Vol. 6. – P. 271 – 320.

Miller A. E. M. Endocrine interactions between plants and animals: implications of exogenous hormone sources for the evolution of hormone signaling / A. E. M. Miller, A. Heyland // General and comparative endocrinology. - 2010. - Vol. 166. - P. 455–461.

Mimica-Dukic N. Antimicrobial and Antioxidant Activities of *Melissa officinalis* L. (Lamiaceae) Essential Oil / N. Mimica-Dukic, B. Bozin, M. Sokovic, N. Simin // J. Agric. Food Chem. - 2004. - № 52. -P. 2485-2489.

Nakai S. Anti-cyanobacterial fatty acids released from *Myriophyllum spicatum* / S. Nakai, S. Yamada, M. Hosomi // Hydrobiologia 2005. - Vol. 543. - P. 71–78.

Neerman M. F. Sesquiterpene lactones: a diverse class of compounds found in essential oils possessing antibacterial and antifungal properties / M. F. Neerman // The International Journal of Aromatherapy. – 2003. Vol. 13. - № 2/3. P. 114 – 120.

Nostro A. Extraction methods and bioautography for evaluation of medicinal plant antimicrobial activity /A. Nostro, M. P. Germano, V. D'Angelo, A. Marino, M. A. Cannatelli //Letters in Applied Microbiology. - 2000. - № 30. - P. 379 — 384.

Nylund G. M. Seaweed defence against bacteria: a poly-brominated 2-heptanone from the red alga *Bonnemaisonia hamifera* inhibits bacterial colonization / G.M. Nylund, G. Cervin, F. Persson, M. Hermansson, P. D. Steinberg, H. Pavia // Mar. Ecol. Prog. Ser. - 2008. - Vol. 369. P. 39-50.

Nylund G. M. The red alga *Bonnemaisonia asparagoides* regulates epiphytic bacterial abundance and community composition by chemical defence / G. M. Nylund, F. Persson, M. Lindegarth, G. Cervin, M. Hermansson, H. Pavia // FEMS Microbiol. Ecol. - 2010. - Vol. 71. - P. 84–93.

Okukawa H. Effects of sesquiterpenoids from Oriental incenses on sedative and analgesic action /H. Okukawa, K. Kawanishi, A. Kato // Aroma Research. - 2000 Vol. 1. - № 1. - P. 34-38.

Öztürk M. HPLC analysis of antioxidant compounds from *Micromeria cilicica* and *M. juliana* and their structure elucidation [Электронный ресурс] / М. Öztürk. Istanbul, 2008. Режим доступа: www.belgeler.com/blg/11s2/

Petrović S. Composition and antimicrobial activity of essential oil of *Stachys plumosa* Griseb. / S. Petrović, M. Ristić, M. Milenković, J. Kukić, J. Anti-Stanković, M. Niketić // Flavour Fragr. J. - 2006. - Vol. 21. - P. 250–252.

Pickett J.A. *cis*-Jasmone as an allelopathic agent through plant defence induction [Электронный ресурс] / J.A. Pickett, M.A. Birkett, T.J.A. Bruce, K. Chamberlain, R. Gordon-Weeks, M.C. Matthes, C.B. Moraes, J.A. Napier, L.E. Smart, L.J. Wadhams, C.M. Woodcock. Режим доступа: http://www.regional.org.au/au/allelopathy/2005/1/3/2481_pickettja.htm.

Pietsch M. Enantiomers of sesquiterpene and diterpene hydrocarbons in *Araucaria* species / M. Pietsch, W.A. König // Phytochem. Anal. - 2000. - Vol. 11. - P. 99–105.

Piotrowska A. Changes in the growth, chemical composition, and antioxidant activity in the aquatic plant *Wolffia arrhiza* (L.) Wimm. (*Lemnaceae*) exposed to Jasmonic acid / A. Piotrowska, A. Bajguz, R. Czerpak, K. Kot // J. Plant. Growth. Regul. - 2010. - Vol. 29. - P. 53–62.

Pip E. Seasonal Changes in the Chemical Composition of *Ceratophyllum demersum* L. in a Small Pond / E. Pip, K. Philipp // Int. Revueges. Hydrobiol. - 1990.- Vol. 75, № 1. - P. 71-78.

Pollio A. Effects of the potential allelochemical α -asarone on growth, physiology and ultrastructure of two unicellular green algae /A. Pollio, G. Pinto, R. Ligrone, G. Aliotta // Journal of Applied Phycology. - 1993. - № 5. - P. 395-403.

Porter N. G. Chemical, physical and antimicrobial properties of essential oils of *Leptospermum scoparium* and *Kunzea ericoides* / N. G. Porter, A. L. Wilkins // Phytochemistry. - 1998. - № 50. - P. 407-415.

Pratsinis H. Antiproliferative Activity of Greek Propolis / H. Pratsinis, D. Kletsas, E. Melliou, I. Chinou // J. Med. Food. - 2010. - № 13 (2). - P. 286–290.

Price S. Aromatherapy for health professionals / ed. by Shirley Price, Len Price. - 3rd ed. - [Philadelphia]: Churchill Livingstone Elsevier. - 2007. - 576 p.

Qiming X. Chemical composition of essential oils of two submerged macrophytes, *Ceratophyllum demersum* L. and *Vallisneria spiralis* L. / X. Qiming, C. Haidong, Z. Huixian, Y. Daqiang // Flavour Fragr. J. - 2006a. - Vol. 21. - P. 524–526.

Qiming X. Allelopathic activity of volatile substance from submerged macrophytes on *Microcystin aeruginosa* / X. Qiming, C. Haidong, Z. Huixian, Y. Daqiang // Acta Ecologica Sinica. - 2006b. - Vol. 26. - № 11. - P. 3549–3554.

Radulovic N. Composition and Antimicrobial Activity of *Equisetum arvense* L. Essential Oil /N. Radulovic, G. Stojanovic, R. Palic // Phytother. Res. - 2006. - № 20. - P. 85–88.

Raina V. K. Essential oil composition of *Acorus calamus* L. from the lower region of the Himalayas /V. K. Raina, S. K. Srivastava, K. V. Syamasunder // Flavour Fragr. J. - 2003. - № 18. - P. 18–20.

Ristic N. Antimicrobial activity of the essential oils of selected *Stachys* species / N. Ristic, J. Lazarevic, N. Radulovic, R. Palic // Chemistry of natural compounds. - 2008. - Vol. 44, № 4. - P. 522-525.

Roy R. N. Dibutyl phthalate, the bioactive compound produced by *Streptomyces albidoflavus* 321.2 / R. N. Roy, S. Laskar, S. K. Sen // Microbiological research. - 2006. - Vol. 161, № 2. - P. 121–126.

Ruberto G. Antioxidant activity of selected essential oil components in two lipid model systems / G. Ruberto, M. T. Baratta // Food Chemistry. – 2000. - № 69. – P. 167-174.

Russo M. Essential Oil Chemical Composition of Wild Populations of Italian Oregano Spice (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum* (Link) Ietswaart): A Preliminary Evaluation of Their Use in Chemotaxonomy by Cluster Analysis. 1. Inflorescences / M. Russo, G. C. Galletti, P. Bocchini, A. Carnacini // J. Agric. Food Chem. – 1998. - № 46. – P. 3741-3746.

Saïdana D. Antibacterial and antifungal activities of the essential oils of two Saltcedar species from Tunisia / D. Saïdana, S. Mahjoub, O. Boussaada, J. Chriaa, M. A. Mahjoub, I. Cheraif, M. Daami, Z. Mighri, A. N. Helal // J. Am. Oil Chem. Soc. - 2008. - Vol. 85. - P. 817–826.

Sangwan N.S. Regulation of essential oil production in plants /N. S. Sangwan, A. H. A. Farooqi, F. Shabih, R. S. Sangwan // Plant Growth Regulation. - 2001. - № 34. - P. 3–21.

Scalbert A. Antimicrobial properties of tannins / A. Scalbert // Phytochemistry.- 1991.- Vol. 30, № 12. - P. 3875-3883.

Sell C. S. A fragrant introduction to terpenoid chemistry / C. S. Sell. UK. - The Royal Society of Chemistry, 2003. - P. 76-77 and P. 83-93.

Shao J. Potential for control of harmful cyanobacterial blooms using biologically derived substances: Problems and prospects /J. Shao, R. Li, J. E. Lepo, J.-D. Gu // Journal of Environmental Management. - 2013. -№ 125. - P. 149-155.

Silva T. M. Changes in the essential oil composition of leaves of *Echinodorus macrophyllus* exposed to γ -radiation / T. M. Silva, R. R. S. Miranda, V. P. Ferraz, M. T. Pereira, E. P. de Siqueira, A. F. C. Alcântara // Brazilian Journal of Pharmacognosy. - 2013. - № 23(4). - P. 600-607.

Sittiwet C. Antimicrobial Activity of Essential Oil from *Nelumbo nucifera* Gaertn. Pollen / C. Sittiwet // International Journal of Pharmacology. – 2009. – Vol. 5 (1). – P. 98-100.

Sørensen T. A. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content, and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. K dan Vidensk Selsk Biol Skr. - 1948. - № 5. P. 1-34.

Srivastava D. Comparative study of the leaf oil of *Juniperus macropoda* growing in Garhwal regions of Utranchal (India) / D. Srivastava, F. Haider, P. D.

Dwivedi, A. A. Naqvi, G. D. Bagchi // *Flavour Fragr. J.* - 2005. - Vol. 20. - P. 460–461.

Svanys A. Effects of the allelopathically active macrophyte *Myriophyllum spicatum* on a natural phytoplankton community: a mesocosm study [Электронный ресурс] / A. Svanys, R. Paskauskas, S. Hilt // *Hydrobiologia.* - December. - 2013. - Режим доступа: DOI 10.1007/s10750-013-1782-4

Taarit M. B. Physiological changes and essential oil composition of clary sage (*Salvia sclarea* L.) rosette leaves as affected by salinity [Электронный ресурс] / M. B. Taarit, K. Msaada, K. Hosni, B. Marzouk // *Acta Physiol. Plant.* - 2010. - June. Режим доступа: DOI 10.1007/s11738-010-0532-8.

Thongdon-A. J. Composition and biological activities of essential oils from *Limnophila geoffrayi* Bonati / J. Thongdon-A., P. Inprakhon // *World J. Microbiol. Biotechnol.* - 2009. - № 25. - P. 1313-1320.

Tomczykowa M. Composition of the Essential Oil of *Bidens tripartita* L. Roots and Its Antibacterial and Antifungal Activities / M. Tomczykowa, K. Leszczyńska, M. Tomczyk, E. Trynieszewska, D. Kalemba // *J. Med. Food.* - 2011. - № 14 (4). - P. 428–433.

Tomlin E.S. Changes in volatile terpene and diterpene resin acid composition of resistant and susceptible white spruce leaders exposed to simulated white pine weevil damage / E.S. Tomlin, E. Antonejevic, R.I. Alfaro, J.H. Borden // *Tree physiology.* - 2000. - Vol. 20. - P. 1087–1095.

Trudgill P. W. Microbial metabolism of monoterpenes - recent developments / P. W. Trudgill // *Biodegradation.* - 1990. - № 1. - P. 93 — 105.

Tsuruta K. Inhibition activity of essential oils obtained from Japanese trees against *Skeletonema costatum* / K. Tsuruta, Y. Yoshida, N. Kusumoto, N. Sekine, T. Ashitani, K. Takahashi // *J. Wood Sci.* – 2011. - № 57. – P. 520–525.

Tucker A. O. Volatile Leaf and Stem Oil of Commercial *Limnophila chinensis* (Osbeck) Merrill ssp. *Aromatica* (Lam.) Yamazaki (Scrophulariaceae) / A. O. Tucker,

Michael J. Maciarello, Mukta Hendi, Kraig A. Wheeler // Journal of Essential Oil Research. - 2002. - № 14. - P. 228-229.

Venci F. V. The shield defense of the sumac flea beetle, *Blepharida rhois* (Chrysomelidae: Alticinae) / F.V. Venci, T.C. Morton // Chemoecology. - 1998. - Vol. 8. - P. 25-32.

Voda K. Effect of the antifungal activity of oxygenated aromatic essential oil compounds on the white-rot *Trametes versicolor* and the brown-rot *Coniophora puteana* / K. Voda, B. Boh, M. Vrtacnik, F. Pohleven // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2003. - № 51. – P. 51 – 59.

Walenciak O. Influence of *Myriophyllum spicatum* – derived tannins on gut microbiota of its herbivore *Acentria ephemerella* / O. Walenciak, W. Zwisler, E. Gross // Journal of Chemical Ecology. – 2002. - Vol. 28, № 10. - P. 2045-2056.

Walsh K. Effect of high irradiance and iron on volatile odour compounds in the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa* / K. Walsh, G. J. Jones, R. H. Dunstan // Phytochemistry. - 1998. - Vol. 49. - P. 1227–1239.

Waridel P. Identification of the polar constituents of *Potamogeton* species by HPLC-UV with post-column derivatization, HPLC-MSn and HPLC-NMR, and isolation of a new *ent*-labdane diglycoside / P. Waridel, J-L. Wolfender, J-B. Lachavanne, K. Hostettmann // Phytochemistry. - 2004b. - Vol. 65. - P. 2401–2410.

Watson S. B. Cyanobacterial and eukaryotic algal odour compounds: signals or by-products? A review of their biological activity / S. B. Watson // Phycologia.- 2003. - Vol. 42, № 4. - P. 332-350.

Watson S. B. Fatty acids and oxylipins as semiochemicals / S. B. Watson, G. Caldwell, G. Pohnert // Lipids in aquatic ecosystems. Springer. - 2009. - P. 65-91.

Wittstock U. Constitutive plant toxins and their role in defense against herbivores and pathogens / U. Wittstock, J. Gershenzon // Curr. Opin. Plant Biol. - 2002. - Vol. 5. - P. 300–307.

Xiangwei Z. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of *Sagittaria trifolia* / Z. Xiangwei, W. Xiaodong, N. Peng, Z. Yang, C. JiaKuan // Chemistry of Natural Compounds. – 2006. - Vol. 42, № 5. – P. 520 - 522.

Xie Y. Chemical variation in essential oil of *Cryptomeria fortunei* from various areas of China / Y. Xie, Q. Huang, F. Yang, C. Lei // Industrial crops and products. - 2012. - Vol. 36, № 1. - P. 308-312.

Xuan T. D. Identification of phytotoxic substances from early growth of Barnyard Grass (*Echinochloa crusgalli*) root exudates / T. D. Xuan, M. Chung, T. D. Khanh, S. Tawata // J. Chem. Ecol. - 2006. - Vol. 32. - P. 895–906.

Zhang H. Control of Panama Disease of Banana by Rotating and Intercropping with Chinese Chive (*Allium Tuberosum* Rottler): Role of Plant Volatiles [Электронный ресурс] /H. Zhang, A. Mallik, R. S. Zeng //J. Chem. Ecol. - 2013.

Режим доступа: DOI 10.1007/s10886-013-0243-x

Zhang T.-T. The allelopathy and allelopathic mechanism of phenolic acids on toxic *Microcystis aeruginosa* / T.-T. Zhang, Ch.-Y. Zheng, W. Hu, W.-W. Xu, H. - F. Wang // J. Appl. Phycol. - 2010. - Vol. 22. - P. 71–77.