

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ОЗЕРОВЕДЕНИЯ

На правах рукописи
УДК: 574.5+(581.19:582.5)

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург — 2015

Работа выполнена в лаборатории гидробиологии
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института
озероведения Российской академии наук

Научный руководитель: **Курашов Евгений Александрович**
доктор биологических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Сухенко Людмила Тимофеевна**, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры биотехнологии и биоэкологии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Астраханский государственный университет»

Филиппов Дмитрий Андреевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Лаборатории высшей водной растительности Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт биологии внутренних вод им. И.Д.Папанина Российской академии наук»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук».

Защита состоится «31» марта 2015 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 002.064.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института озероведения Российской академии наук по адресу: 196105, Санкт-Петербург, ул. Севастьянова 9
тел. +7(812)3870260; e-mail: dissovet@limno.org.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУН Института озероведения РАН и на сайте http://limno.org.ru/ref/mgg_d.pdf
Автореферат разослан « _____ » _____ 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат биологических наук

В. П. Беляков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. 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. Значительную роль в регуляции разнообразных процессов взаимоотношения между водными организмами играют химические соединения, в том числе летучие низкомолекулярные органические соединения (ЛНОС), синтезируемые водными растениями. Благодаря синтезу и выделению различных химических соединений, высшие водные растения (ВВР), водоросли и бактерии вступают в разнообразные взаимодействия в гидробиоценозах, среди которых одними из важнейших являются аллелопатические (Гуревич, 1978; Метейко, 1978; Сакевич 1985; Fink, 2007; Hu, Hong, 2008 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 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; Hu, Hong, 2008; Курашов, Крылова, 2013 и др.).

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 от абиотических факторов среды обитания (Метейко, 1978; Королюк и др., 2002; Gross, 2003; Ткачѐв, 2008 и др.). К сожалению, в сравнении с наземной растительностью в отношении водных растений имеется крайне мало литературных сведений о качественном составе и количественном содержании ЛНОС. Процессы биосинтеза ЛНОС и влияние на них факторов среды не изучены для большинства водных макрофитов, в том числе структурообразующих.

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 ЛНОС и их роль в гидробиоценозах можно изучать только при помощи хромато-масс-спектрометрических комплексов, так как аллелохимические агенты, выделяемые в

составе эфирного масла, необходимо определять до химической формулы. 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., 2006; Hu, Hong, 2008; Macías et al., 2008). Однако, количество видов высших водных растений, для которых установлена бактерицидная активность ограничено, поэтому 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. Литературных данных о компонентном составе ЛНОС роголистника тёмно-зелёного (*Ceratophyllum demersum* L.) крайне мало, имеется лишь публикация о компонентном составе эфирного масла *C. demersum*, произрастающего на территории Китая (КНР) (Qiming et al, 2006). При этом отсутствует информация о качественных и количественных изменениях в составе ЛНОС эфирного масла в онтогенезе этого широко распространённого вида, играющего важную роль во многих водных экосистемах.

Цель работы - исследовать компонентный состав ЛНОС и антимикробную активность эфирных масел рдеста туполистного (*P. obtusifolius*) и роголистника тёмно-зелёного (*C. demersum*) 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 необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Выделить эфирные масла *P. obtusifolius* и *C. demersum*;
2. Идентифицировать летучие низкомолекулярные органические соединения, 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. На примере изученных видов показано, что качественный состав и количественное содержание метаболитов продуцируемых водными макрофитами, изменяется в их онтогенезе и находится в зависимости от условий среды обитания. Впервые определена антибактериальная активность ЛНОС рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного.

Теоретическое и практическое значение.

Полученные данные расширяют теоретические представления о межвидовых, в том числе 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. Показано, что водные макрофиты, как возобновляемые биоресурсы, могут выступать в качестве источников ценных в практическом отношении низкомолекулярных органических соединений.

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 биофармацевтического 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 источника, в том числе 143 на английском языке.

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

В первой главе приведён обзор литературных данных по изучению симбиотических и антагонистических связей пресноводных высших водных растений с другими гидробионтами. Обсуждаются вопросы касающиеся изменения содержания эфирных масел в онтогенезе растений, принадлежащих к разным семействам, его количественного содержания и качественного состава из различных органов, роль ЛНОС в процессах жизнедеятельности водных макрофитов.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В главе дана общая характеристика объектов исследования, информация о методах выделения и идентификации до химической формулы ЛНОС входящих в состав эфирных масел высших водных растений, методах исследования антибактериальной активности эфирных масел.

Изучен компонентный состав и антибактериальная активность рдеста

туполистного (*P. obtusifolius*) и роголистника тёмно-зелёного (*C. demersum*) произрастающих на территории России (Санкт-Петербург, пруды Парка Победы). 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. 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)). 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, полученные с использованием стандартов алканов C₇–C₃₀. Количественный анализ выполняли с использованием внутренних стандартов: декафторбензофенона и бензофенона.

Для выявления сходства образцов эфирного масла по составу ЛНОС применялись коэффициенты сходства Жаккара (Jaccard, 1901) и Сьёренсена-Чекановски (Sørensen, 1948).

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.

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 (МУК 4.2.1890-04, 2004). Эксперименты были проведены в трёх-шести повторностях. Результаты антибактериальной активности эфирных масел обрабатывали методами математической статистики с использованием программы STATISTICA 10.

ГЛАВА 3. КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ЭФИРНОГО МАСЛА РДЕСТА ТУПОЛИСТНОГО

Относительное содержание (%) наиболее обильных соединений (> 1%) в эфирном масле рдеста туполистного 2009 г. сбора, приведено в таблице 1 для четырёх сроков (в связи с ограниченным объемом автореферата) характеризующих различные фазы вегетации и одного образца рдеста собранного в конце августа 2014 г. (вегетация после плодоношения). На рисунке 1, в качестве примера, приведен общий вид хроматограммы эфирного масла *P. obtusifolius*, собранного в фазу цветения.

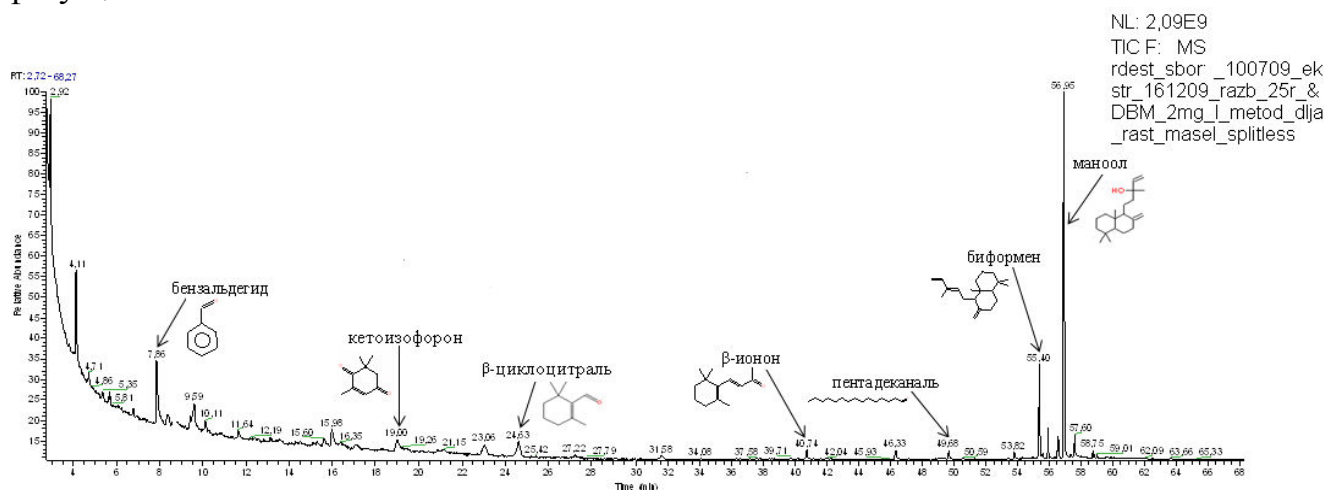


Рис. 1. Общий вид хроматограммы эфирного масла *P. obtusifolius* с указанием положения некоторых наиболее важных соединений, фаза цветения.

Анализ компонентного состава ЛНОС эфирного масла *P. obtusifolius*, в различные фазы вегетации показал наличие большого количества соединений, принадлежащих к различным классам. Исследование качественного состава и количественного содержания ЛНОС *P. obtusifolius* в течение вегетации 2009 г. 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. Эфирное масло рдеста туполистного собранного в 2014 г., после проведённых ремонтно-реставрационных работ парка Победы: берегоукрепление, очистка прудов содержало 124 соединения (табл. 1).

Таблица 1. Относительное содержание (%) наиболее обильных соединений (> 1%) в эфирном масле *P. obtusifolius* в различные фазы вегетации 2009 г. и в 2014 г., вегетация после плодоношения (I – начало вегетации; II – цветение; III – начало плодоношения; IV – вегетация после плодоношения, V - *P. obtusifolius* в 2014 г., вегетация после плодоношения) (RT – время удерживания, мин; ИК – индекс Ковача).

№	Компонент	Формула	RT	ИК	Содержание компонента в эфирном масле (%)				
					I	II	III	IV	V
1	(E)-гекс-2-ен-1-ол	C ₆ H ₁₂ O	4.05	851	0.32	0.56	1.18	0.55	0.58
2	(E)-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	0.01
3	пентадеканаль	C ₁₅ H ₃₀ O	49.67	1710	0.65	1.03	1.21	0.70	0.59
4	тетрадекановая кислота	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	51.31	1766	0.04	0.04	0.03	1.34	0.36
5	6,10,14-триметилпентадекан-2-он	C ₁₈ H ₃₆ O	53.82	1854	0.80	0.74	1.20	1.16	0.32
6	1,1,4а-триметил-6-метилен — 5-(3-метил-2,4-пентадиен-1-ил)декагидронафталин; [биформен]	C ₂₀ H ₃₂	55.40	1921	25.16	24.78	12.44	5.00	19.03
7	5α-андростан-16-он	C ₁₉ H ₃₀ O	55.55	1932	2.20	1.04	0.71	0.42	0.01
8	дибутилбензол-1,2-дикарбоксилат; [дибутилфталат]	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	55.93	1961	1.94	1.42	2.86	3.13	0.54
9	гексадекановая кислота	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	56.22	1983	0.74	-	0.20	2.37	3.67
10	(2S,4aS)-2-этенил-2,4a,8,8-тетраметил-3,4,4b,5,6,7,10,10a-октагидро-1H-фенантрен; [римуен]	C ₂₀ H ₃₂	56.51	2006	2.90	2.07	0.61	0.19	-
11	каур-16-ен; [каурен]	C ₂₀ H ₃₂	56.58	2014	6.59	5.41	2.41	0.76	5.90
12	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	46.05
13	генэйкозан	C ₂₁ H ₄₄	57.36	2100	1.35	0.52	0.28	0.69	0.54

14	метилоктадеcanoат	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	57.6	2126	1.78	3.10	0.99	0.97	0.59
15	(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	4.49
16	5-[(1S,4aR,5S,8aR)-5-(гидроксиметил)-5,8а-диметил-2-метилен-3,4,4а, 6,7,8-гексагидро-1H-нафталин-1-ил]-3-метиленпентан-1-ол; [агатадиол]	C ₂₀ H ₃₄ O ₂	58.58	2259	-	-	0.09	0.26	1.32
17	1-(3-гидрокси-10,13-диметил-2,3,4,5,6,7,8,9,11,12,14,15,16,17-тетрадекагидро-1H-циклопента[а]фенант-рен-17-ил) этанон; [прегнанонон]	C ₂₁ H ₃₄ O ₂	58.75	2284	0.30	0.34	0.67	1.03	2.95
18	неидентифицированное <i>m/z</i> 302 [M ⁺], 81 (100)		59.68	2431	0.55	-	-	-	1.76
19	(22E)-3α-эргоста-14,22-диен-5β-ол ацетат	C ₃₀ H ₅₀ O ₂	62.07	2704	0.3	-	0.16	0.47	1.16
	Концентрация эфирного масла в сухих растениях, мг/г сух.в.				0.385	0.155	0.330	0.540	1.476
	Общее число веществ				85	93	105	128	124

Примечание: 1) «-» - означает, что компонент не обнаружен; 2) для некоторых веществ в квадратных скобках указаны тривиальные или наиболее часто употребляемые наименования.

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 составил 0.658, а Съёренсена-Чекановски — 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) было 4: биформен (5% и 19.03% соответственно), манолол (66.01% и 46.05%), фитол (1.31% и 4.49%), прегнанонон (1.03% и 2.95%).

Однако, количественное содержание как отдельных групп веществ в комплексе ЛНОС макрофитов, так и индивидуальных компонентов варьирует (табл. 1). 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, то содержание углеводов в составе эфирного масла рдеста, наоборот, увеличилось с 7.64 до 27.15%. Прослеживаются различия и в количественном содержании компонентов. Например, синтезирование маноола увеличилось 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 некоторых других соединений также увеличилось в рдесте 2014 г. (табл. 1). Однако, содержание некоторых компонентов в рдесте 2014 г. уменьшилось в сравнении с рдестом 2009 г. Например, концентрация β -иона. Выявленные различия в компонентном составе ЛНОС рдеста могут быть объяснены различными условиями обитания растений. Так, данные химического анализа грунта Пейзажного пруда показывают, что количество тяжёлых металлов после проведения ремонтно-реставрационных работ уменьшилось в два-три раза (по данным к. г. н. Игнатъевой Н. В. (ИНОЗ РАН)). Возможно, на изменение качественного состава эфирных масел повлияло изменение площади произрастания макрофитов. Так, в 2009 г. рдест образовывал сплошную прибрежную полосу шириной до 2.5 м., а в 2014 — крупные куртины.

В течение сезона 2009 г. наблюдалось увеличение числа ЛНОС в составе эфирного масла. 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 было 15 (табл. 1). Изучение динамики содержания в эфирном масле рдеста некоторых групп экстрактивных веществ выявило их 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 увеличивалось в онтогенезе 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.

Анализ динамики мажорных компонентов эфирного масла *P. obtusifolius*, показал, что продуцирование маноола увеличивалось в онтогенезе растений с 43.97% до 66.01%, а биформена, наоборот, уменьшалось (25.16 - 5%) (рис. 2).

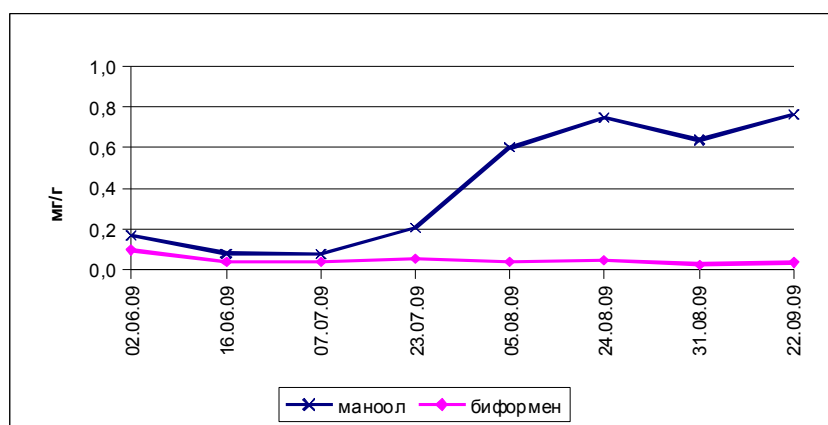


Рис. 2. Сезонное изменение концентраций манолола и биформена в *P. obtusifolius* (пруд в Парке Победы, Санкт-Петербург).

Соединения в составе ЛНОС рассматриваемого рдеста известны как биологически активные вещества (антимикробное, противовирусное, фунгицидное действие, участие в аллелопатических взаимодействиях т.д.) и, по-видимому, выполняют разнообразные функции в регулировании развития *P. obtusifolius* с учетом состояния окружающей среды и взаимоотношений с другими организмами.

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).

Высока в эфирном масле рдеста была доля фталатов: 1.86 – 3.55%, увеличивающаяся к осени. Фталаты, в большинстве случаев, рассматриваются как загрязнители окружающей среды. Однако, имеются данные, показывающие, что актиномицеты, грибы и растения способны синтезировать фталаты, которые участвуют в аллелопатических взаимодействиях (Roy et al., 2006; Xuan et al., 2006).

Интерес в составе синтезируемых растениями веществ представляют фитоэкдистероиды, которые играют важную роль в природе. В частности, экдистероиды являются гормонами линьки и метаморфоза у ракообразных и насекомых. При поедании растений, содержащих фитоэкдистероиды, членистоногие могут получать различные повреждения (метаболический стресс, преждевременная линька и т. д.) вплоть до их гибели, т. е. данные вещества выполняют защитную функцию (Dinan, 2001; Dinan et al., 2001; Тимофеев, 2006). У исследованного нами вида концентрации производных стерана зависели от стадии роста растений. Большая доля и концентрация соединений этой группы

была отмечена для начала вегетации (12.5 мкг/г сух.в.). Наименьшие значения - в период цветения, а в дальнейшем происходило их увеличение (до 12.8 мкг/г сух.в.). Наши данные согласуются с наблюдениями, показывающими, что большие концентрации фитоэкдистероидов наблюдаются у молодых растений или в их растущих частях (Ревина, Гуреева, 1985; Алексеева и др., 1998; Chadin et al., 2003), что объясняет их защищенность против консументов (Jacobsen, Sandjensen, 1995).

Внимания заслуживает маноол, один из главных компонентов эфирного масла рдеста, впервые выделенный у ВВР. Маноол продуцировался рдестом в окружающую среду. По нашим данным, его концентрация в воде внутри зарослей *P. obtusifolius* в разные сроки вегетации составляла 0.012-2.040 мг/л. Маноол интересен как ценный ресурс для медицины и парфюмерии (Dimas et al., 1998; Sell, 2003; Pratsinis et al., 2010). Второй по содержанию среди ЛНОС рдеста компонент – биформен (табл. 1), который так же, как и маноол, выделялся рдестом в окружающую среду, но при выделении из растений трансформировался в скларен, его содержание в воде было 0.039- 0.094 мг/л.

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* изучен в двух рядом расположенных прудах Парка Победы (Санкт-Петербург) – Квадратном и Фонтанном. Место произрастания роголистника в Квадратном пруду характеризовалось высокой степенью затенения (заросли кустов и деревьев по берегу, интенсивное развитие многокоренника обыкновенного на поверхности пруда), поэтому *C. demersum* размножался только вегетативным способом, фаз цветения и плодоношения отмечено не было. Во втором пруду роголистник произрастал при более высоком уровне освещения, у растений наблюдались все фазы вегетации.

Результаты анализа компонентного состава эфирного масла роголистника показали наличие большого количества соединений, принадлежащих к различным классам химических веществ. Относительное содержание (%) наиболее обильных соединений (> 1%) в эфирном масле представлено в таблице 2. На рисунке 3 приведен пример общего вида хроматограммы эфирного масла *C. demersum* L. из Квадратного пруда, середина вегетации (рис. 3).

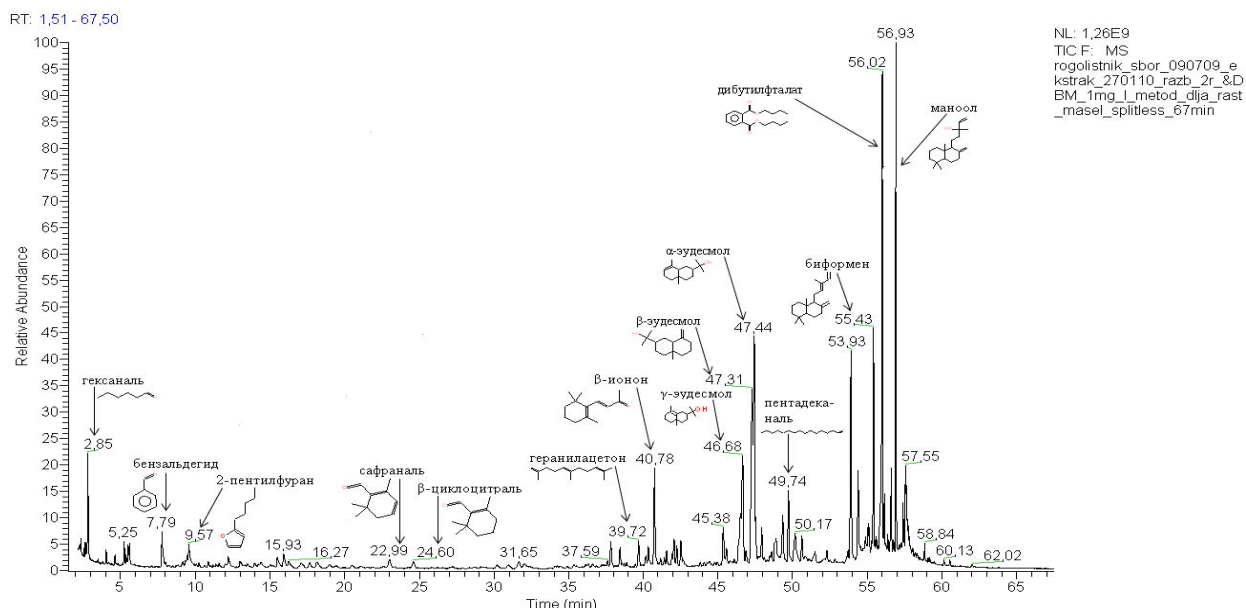


Рис. 3. Общий вид хроматограммы эфирного масла *C. demersum* L. из Квадратного пруда с указанием некоторых наиболее важных соединений, середина вегетации.

Таблица 2. Относительное содержание (%) наиболее обильных соединений (> 1%) в эфирном масле *C. demersum* в различные фазы вегетации (I – начало вегетации; II – середина вегетации; III – продолжение вегетации) (пруд Квадратный, Санкт-Петербург), IV - 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 (%)			
					I	II	III	IV
1	1-метилциклопентан-1-ол	$C_6H_{12}O$	2.60	798	0.41	-	-	1.35
2	гексаналь	$C_6H_{12}O$	2.8	804	1.80	2.17 (5.4)	6.33	5.4
3	1-гексанол	$C_6H_{14}O$	4.68	874	0.17	0.34 (1.9)	1.75	0.28
4	2-гептанон	$C_7H_{14}O$	5.38	899	0.70	0.65 (0.4)	1.73	1.03
5	гептаналь	$C_7H_{14}O$	5.75	907	0.69	0.26 (1.7)	0.95	1.22
6	(2Z,4Z)-гепта-2,4-диеналь	C_6H_8O	6.48	923	1.42	0.04	-	-
7	бензальдегид	C_7H_6O	7.83	952	-	1.28	1.81	0.45

8	6-метилгепт-5-ен-2-он	$C_8H_{14}O$	9.47	988	0.31	0.26	1.60	-
9	2-пентилфуран	$C_9H_{14}O$	9.59	990	0.50	0.49	1.31	0.87
10	3,5-октадиен-2-он	$C_8H_{12}O$	15.5	1091	0.45	0.60	1.61	0.29
11	2,6-диметилцикло- гексан-1-ол	$C_8H_{16}O$	15.93	1098	0.48	0.62 (2.9)	1.14	0.39
12	2,6,6-триметилцикло- гекса-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	0.09
13	6-гидрокси-4,4- диметил-3H-хромен-2- он	$C_{11}H_{12}O_3$	32.01	1308	0.21	0.54	1.93	-
14	(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	2.34
15	4-(2-метил-3-оксо- циклогексил)бутаналь	$C_{11}H_{18}O_2$	42.03	1509	0.70	0.74	0.70	1.51
16	2-[(2R,4Ar,8aR)4a,8- диметил-2,3,4,5,6,8a- тетрагидро-1H- нафтален-2-ил]пропан- 2-ол	$C_{15}H_{24}O$	42.50	1520	1.33	0.81	0.18	-
17	1,4-метанобензоцикло- децен, 1,2,3,4,4a,5,8,9, 12,12a-декагидро-	$C_{15}H_{22}$	44.86	1574	-	-	-	1.90
18	2-(6,10-диметил- спиро[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	-
19	[2,4,4-триметил-3-(2- метилпропа- ноилокси)пентил] 2- метилпропаноат	$C_{16}H_{30}O_4$	45.50	1589	1.15	0.58 (0.2)	0.09	-
20	тетрадеканаль	$C_{14}H_{28}O$	45.58	1590	-	-	-	2.74 (0.6)
21	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	-	-

22	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	-
23	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	0.15
24	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	-
25	2-(3,8-диметил-1,2,3,3а,4,5,6,7-октагидроазулен-5-ил)пропан-2-ол; [булнесол]	C ₁₅ H ₂₆ O	47.88	1656	1.93	0.91	0.07	-
26	тетрадекан-1-ол	C ₁₄ H ₃₀ O	48.86	1685	-	0.46	0.23	6.51
27	<i>гептадекан</i>	C ₁₇ H ₃₆	49.32	1700	0.91	1.50 (0.9)	1.70	2.37
28	<i>пентадеканаль</i>	C ₁₅ H ₃₀ O	49.74	1710	1.69	1.55 (3.3)	1.38	11.07
29	5,5-диметил-2-пропан-2-илциклогексан-1-карбоновая кислота	C ₁₂ H ₂₂ O ₂	50.16	1727	0.63	1.30	0.41	-
30	<i>6,10,14-триметил-пентадекан-2-он</i>	C ₁₈ H ₃₆ O	53.82	1854	3.62	5.80 (2.8)	3.52	6.26
31	1-гексадеканол, 2-метил-	C ₁₇ H ₃₆ O	54.25	1868	-	-	-	1.74
32	<i>бис(2-метилпропил)-1,2-бензолдикарбоксилат; [диизобутилфталат]</i>	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	54.32	1871	0.93	1.76 (5.0)	0.58	4.43
33	цис,цис,цис-7,10,13-гексадекатриеналь	C ₁₆ H ₂₆ O	54.38	1873	-	-	-	2.63
34	тридекан, 2-фенил-	C ₁₉ H ₃₂	54.68	1884	-	-	-	1.33

35	1,1,4а-триметил-6-метил-5-(3-метил-2,4-пентадиен-1-ил) декагидронафталин; [биформен]	$C_{20}H_{32}$	55.43	1919	3.99	3.83	1.21	-
36	цис-11-гексадеценовая кислота	$C_{16}H_{30}O_2$	55.82	1953	1.67	1.75	1.42	-
37	<i>дибутилбензол-1,2-дикарбоксилат; [дибутилфталат]</i>	$C_{16}H_{22}O_4$	56.02	1961	4.80	8.75 (1.0)	3.46	9.19
38	гексадекановая кислота	$C_{16}H_{32}O_2$	56.12	1975	2.34	0.91	2.42	-
39	каур-16-ен; [каурен]	$C_{20}H_{32}$	56.58	2014	1.00	1.17	0.17	-
40	5-(5,5,8а-триметил-2-метилен-3,4,4а,6,7,8-гексагидро-1Н-нафтален-1-ил)-3-метилпент-1-ен-3-ол; [маноол]	$C_{20}H_{34}O$	56.90	2047	6.52	7.52	16.27	0.42
41	5-додецилоксолан-2-он	$C_{16}H_{30}O_2$	57.48	2115	-	-	-	1.10
42	метилоктадеканонат	$C_{19}H_{38}O_2$	57.60	2126	0.51	0.92	4.37	4.81
43	(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	-	4.93
	Концентрация эфирного масла в сухих растениях, мг/г сух. в.				0.98	0.063	0.059	0.058
	Общее число веществ				133	180	180	121

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) для некоторых веществ в квадратных скобках указаны тривиальные или наиболее часто употребляемые наименования; 3) «-» - 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. В составе ЛНОС *C. demersum*, вегетирующего в Фонтанном пруду было выявлено 121 соединение (табл. 2). В соответствии с литературными данными, для *C. demersum*, произрастающего на территории Китая, было идентифицировано 56 соединений, которые в сумме составляли 87.2% от общего количества эфирного масла (Qiming et al, 2006).

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 растения способны синтезировать различное число соединений, выполняющих необходимые в данный момент функции (Inderjit, 1994; Chemical ecology ..., 2002; Fink, 2007). Не исключено, что сравниваемые растения находились в различных фазах индивидуального развития, т. к. в цитируемой статье нет информации о фазе вегетации *C. demersum*.

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 (фаза плодоношения). Компонентный состав эфирного масла роголистника во время фазы плодоношения (Фонтанный пруд) был наиболее сходен с третьей фазой вегетации *C. demersum* из Квадратного пруда, коэффициент сходства Жаккара равен 0.228, Сьёренсена-Чекановски — 0.372 (Sørensen, 1948). Но прослеживаются 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 манол (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%) и некоторых других компонентов было ниже (4.43%).

Отличались и суммарные содержания групп экстрактивных веществ. Так, например, среди ЛНОС роголистника, произрастающего в Квадратном пруду, преобладали спирты (24.27 – 49.39%), а у *C. demersum* из Фонтанного пруда – альдегиды (26.17%). Отмеченные различия в компонентном составе ЛНОС могут быть объяснены различными условиями обитания *C. demersum*, подтверждая способность растений менять 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. Общими для всего периода вегетации растений являлись 104 соединения, среди которых основными (содержание свыше 1%, встречаемость в течение всего сезона) было 8 компонентов (табл. 2). В эфирном масле *C. demersum* преобладали маноол (6.52 - 16.27%), содержание которого увеличивалось в онтогенезе растений, биформен, α - и β -эудесмолы, их синтезирование, наоборот, уменьшалось (3.99 — 1.21%, 13.34 — 0.63% и 10.33 - 0.65% соответственно). Необходимо отметить, что количественное содержание маноола в роголистнике, так же, как и в рдесте, увеличивалось в онтогенезе растений. Маноол продуцировался роголистником в окружающую среду. По нашим данным, его концентрация в воде внутри зарослей составляла от 0.055 мг/л до 0.640 мг/л.

В эфирном масле *C. demersum*, так же, как и в рдесте туполистном, нами были выявлены фитостероиды (0.21 — 0.43%).

В составе ЛНОС роголистника были выявлены высокие концентрации фталатов, на долю которых приходилось 4.17 - 10.66%. В то время как рдест, в зависимости от условий обитания, содержал всего от 1.36% до 3.55%.

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

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). 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 *E. coli* и *B. subtilis*. Ингибирующее действие на *Ps. aeruginosa* оказывало только эфирное масло эвкалипта (табл. 3). Сравнив антибактериальную активность исследованных нами водных растений с работами Xiangwei Z. с коллегами и Sittiwet C., которые диффузионными методами исследовали антимикробный эффект эфирных масел стрелолиста (Xiangwei et al., 2006) и лотоса (Sittiwet, 2009), 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 рдеста и роголистника обладали антибактериальным эффектом в отношении *E. coli* и *B. subtilis*.

Таблица. 3 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±1.40
<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.

Исследование антимикробной активности эфирных масел *C. demersum* и *P. obtusifolius* показало, что если в отношении *B. subtilis* их действие примерно одинаково, то ингибирующее влияние роголистника на *E. coli* значительно выше противомикробного действия рдеста. Эфирное масло *C. demersum* в отношении *E. coli* и *B. subtilis* проявляло примерно одинаковый эффект. Более высокая антибактериальная активность эфирного масла роголистника может быть связана с

тем, что в составе ЛНОС *C. demersum* в июле содержится больше альдегидов (8.66%), чем в эфирном масле рдеста (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). ЛНОС рдеста наиболее активно действовали на *B. subtilis* и в меньшей степени его антимикробная активность распространялась на *E. coli*. Было показано, что различия диаметров зон задержки роста *E. coli* и *B. subtilis* вокруг дисков, пропитанных эфирными маслами рдеста туполистного достоверны ($p=0.000002$), а роголистника тёмно-зелёного — недостоверны ($p=0.241504$).

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. Поэтому представляется перспективным изучение других водных растений как источников эфирных масел, проявляющих антимикробный эффект.

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

В шестой главе рассматривается роль рдеста туполистного и роголистника тёмно-зелёного в самоочищении водоёмов, дана оценка их аллелопатического потенциала, прежде всего в отношении пресноводных водорослей и цианобактерий, а также использование выделенных из макрофитов природных экзометаболитов и их синтетических аналогов для подавления развития цианобактерий. Рассматриваются вопросы использования эфирных масел в медицине и пищевой промышленности.

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, инсектицидных препаратов.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Курашов Е. А., Крылова Ю. В., Митрукова Г. Г. Теоретические и практические аспекты изучения метаболитов макрофитов и их роли в пресноводных экосистемах // Материалы VII Международной конференции по водным макрофитам «ГИДРОБОТАНИКА 2010», Борок (09—13 октября 2010 г.), 2010.

2. Курашов Е.А., Крылова Ю.В., Митрукова Г.Г., Чернова А.М. Состав летучих низкомолекулярных органических веществ макрофитов и их роль в пресноводных экосистемах //Материалы IV Международной конференции «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды», Нарочь, 2011.

3. Курашов Е. А., Крылова Ю. В., Митрукова Г. Г. Компонентный состав летучих низкомолекулярных органических веществ *Ceratophyllum demersum* L. во время плодоношения //Вода: химия и экология 2012. - № 6, С. 107 - 116. **(издание перечня ВАК РФ)**

4. Курашов Е. А., Крылова Ю. В., Митрукова Г. Г. Изменения компонентного состава эфирного масла побегов *Potamogeton pusillus* (*Potamogetonaceae*) в течение вегетации // Растительные ресурсы. - 2013. - т. 49, вып. 1. - С. 85 - 103. **(издание перечня ВАК РФ)**

5. Курашов Е.А., Митрукова Г.Г., Крылова Ю.В. Компонентный состава эфирного масла *Ceratophyllum demersum* (*Ceratophyllaceae*) в течение вегетации // Растительные ресурсы. - 2014. - т. 50, вып. 1. - С. 132-144. **(издание перечня ВАК РФ)**

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