

На правах рукописи

**Поляков Николай Александрович**

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЦИОНАЛЬНОГО  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАГУЛЬНИКА БОЛОТНОГО**

**03.00.16 – Экология**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Томск – 2008

Работа выполнена в ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет» на кафедре «машины и аппараты пищевых производств».

Научные руководители: доктор химических наук, профессор  
**Ефремов Александр Алексеевич**

доктор биологических наук  
**Кириенко Наталья Николаевна**

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,  
старший научный сотрудник  
**Костеша Николай Яковлевич**

кандидат биологических наук, доцент  
**Михайлова Светлана Ивановна**

Ведущая организация: ГНУ Сибирский ордена Знак Почета  
научно-исследовательский и проектно-  
технологический институт переработки  
сельскохозяйственной продукции СО РАСХН

Защита состоится « 30 » июня 2008 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.267.10 при ГОУ ВПО «Томский государственный университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке ГОУ ВПО «Томский государственный университет»

Автореферат разослан «    » мая 2008 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Е.Ю. Просекина

**Актуальность темы.** Багульник болотный широко используется как в народной, так и в официальной медицине из-за ярко выраженного противовоспалительного, ранозаживляющего, седативного и спазмолитического фармакологических действий. Однако среди эфиромасличных растений он известен как вид, на качественный и количественный состав биологически активных веществ (БАВ) которого значительное влияние оказывают фаза вегетации и природно-климатические факторы (Белюсова Н. И., 1996, 1999). В Сибири основные районы, где возможна заготовка данного вида в промышленных масштабах, – это Восточные и Западные Саяны (Атлас ареалов и ресурсов..., 1983), поэтому представляется целесообразным проведение сравнительного анализа компонентного состава растительного сырья из этих биотопов и определение оптимального периода развития растения для получения продукции с максимальным количеством БАВ.

При разработке научных основ рационального использования багульника болотного важное место должна занимать оценка растительного сырья на экологическую безопасность, поскольку загрязнение окружающей среды носит глобальный характер. Почва является начальным этапом миграции тяжелых металлов и других химических элементов в системе «почва – растительное сырье – продукт, содержащий БАВ». Поэтому нами была изучена степень загрязненности данного объекта поллютантами в районах заготовки сырья.

Особой значимостью отличается и задача по разработке экологически безопасных и малоотходных технологических схем комплексной переработки растительного сырья, что обеспечит не только рациональное использование багульника болотного, но и получение продукции, содержащей БАВ с низкой себестоимостью.

**Цель исследований:** экологическое обоснование рационального использования багульника болотного, произрастающего в Западных и Восточных Саянах.

**Основные задачи:**

- определить влияние на локализацию, компонентный состав и физико-химические характеристики эфирного масла багульника болотного фазы вегетации и места произрастания;
- исследовать биохимический состав водного экстракта багульника болотного разных фаз вегетации и мест произрастания;
- изучить особенности миграции микро- и макроэлементов в системе «почва – растительное сырье – продукт, содержащий БАВ»;
- разработать технологическую схему, обеспечивающую рациональное использование и комплексную переработку лекарственного растительного сырья для получения продуктов, содержащих БАВ.

**Научная новизна.** Впервые на основе комплексных исследований определен компонентный состав и биохимические свойства эфирного масла и водного экстракта багульника болотного, произрастающего в Западных и Восточных Саянах, и их зависимость от фазы вегетации растения. Изучены особенности миграции микро- и макроэлементов в системе «почва – растительное сырье

– продукт, содержащий БАВ», и установлено влияние биотопа на биогеохимическую активность растений.

Разработана высокоэффективная условно-безотходная ( $K_B = 0,92$ ) схема переработки лекарственного растительного сырья из багульника болотного для получения продуктов, содержащих БАВ, что позволяет значительно сократить объемы заготовки растений.

**Практическая значимость.** Установлено, что промышленные заготовки багульника болотного целесообразно производить в период вторичной вегетации – фазы наибольшей концентрации в растениях эфирного масла и левола. Определено оптимальное время (240 минут) отгонки эфирного масла исследуемого сырья. Получены результаты по санации и бактерицидной активности эфирного масла багульника. Разработана технологическая схема комплексной переработки эфиромасличного сырья с рентабельностью производства 140,8 %.

Материалы диссертации используются в учебном процессе высших учебных заведений при подготовке специалистов – агроэкологов, инженеров пищевых производств. Результаты диссертационного исследования внедрены на объектах перерабатывающего производства предприятия ООО «Натуральные продукты Красноярья».

**Апробация работы.** Результаты исследований и основные положения диссертации доложены и одобрены на межвузовских (Красноярск, 2005, 2006), межрегиональной (Красноярск, 2006), всероссийских (Красноярск, 2005, 2006, Барнаул, 2007) и международной (Москва, 2008) научно-практических конференциях.

**Публикация результатов исследования.** По результатам исследований опубликовано 14 статей, в т.ч. 1 – в издании, рекомендованном ВАК.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- вариативность состава и физико-химических характеристик эфирного масла и водного экстракта багульника болотного в зависимости от фазы вегетации и места произрастания растения;
- наличие особенности миграции микро- и макроэлементов в системе «почва – растительное сырье – продукт, содержащий БАВ»;
- разработана и рекомендована технологическая схема комплексной переработки эфиромасличного растительного сырья.

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа изложена на 118 страницах, включает 27 таблиц, 25 рисунков, 4 приложения и состоит из введения, трех глав, выводов, предложений производству и списка литературы из 142 наименований, из которых 16 – зарубежных авторов.

## **ГЛАВА 1 Теоретическое обоснование возможности рационального использования багульника болотного с учетом экологических и экономических факторов**

Первая глава посвящена аналитическому обзору отечественной и зарубежной литературы по изучаемой проблеме. Приведены данные по количественным запасам багульника болотного в Западных (Республика Хакасия) и Восточных (Иркутская область) Саянах. Делается вывод об отсутствии комплекс-

ных исследований по рациональному использованию багульника болотного в зависимости от экологических факторов (природно-климатических условий произрастания) и фазы вегетации.

## ГЛАВА 2 Материал и методы исследований

Образцы растительного сырья – олиственные однолетние недревесневшие побеги багульника болотного (*Ledum palustre* L.) – были собраны в разные фазы развития (цветения – июнь, плодоношения – август, вторичной вегетации – октябрь).

Сбор растительного сырья и образцов почвы осуществлялся в районе Западных Саян (окрестности г. Абаза, Республика Хакасия) и в районе Восточных Саян (окрестности г. Слюдянка, Иркутская область). Исследуемый багульник болотный приурочен к соснякам багульник-сфагновым.

Исследования проводились с 2005 по 2008 год в соответствии с Региональной программой фундаментальных и приоритетных прикладных исследований по научному обеспечению развития АПК РФ на 2006-2010 гг. ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет». (Шифр темы: Х.05.02).

Работа осуществлялась согласно представленной схеме (рис.1).



Рисунок 1 – Схема исследований

Локализацию эфирного масла багульника болотного определяли при увеличении в 100 раз на световом микроскопе (МБИ-3).

Содержание эфирного масла определяли путем его перегонки с водяным паром из растительного сырья с последующим измерением объема. Для изучения компонентного состава и основных физико-химических характеристик эфирного масла, полученного из багульника болотного, определяли его плотность с помощью пикнометра, показатель преломления на рефрактометре (УРЛ-1), кислотное и эфирное числа. Динамика выделения эфирного масла определялась гравиметрически. Химический состав эфирного масла исследовали методом хроматомасс-спектрометрии на газовом хроматографе (Hewlett-Packard 5890/11) с квадрупольным масс-спектрометром (HP MSD 5971) в качестве детектора.

С помощью исчерпывающей экстракции исследовалось количество экстрактивных веществ, извлекаемых различными органическими растворителями: диэтиловым эфиром, этилацетатом, изопропиловым спиртом и водой. Электронные спектры полученных экстрактов багульника болотного в ультрафиолетовой и видимой области спектра регистрировали на спектрометре фирмы Schimadzu в области 190-800 нм.

Содержание дубильных веществ определяли по ГОСТ 24027.2-80.

Количественное определение содержания редуцирующих веществ в растительном сырье осуществляли эбулиостатическим методом. Метод основан на принципе прямого титрования. Индикатор – метиленовая синь.

Количественное определение витамина С основано на его редуцирующих свойствах – раствор 2,6-дихлорфенолиндофенола синей краски восстанавливается в бесцветное соединение экстрактами растения, содержащими аскорбиновую кислоту (реакция Тильсмана).

Элементный состав исследуемого материала определен атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре ASS-30. Извлечение подвижной формы металлов из почвы проведено ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8 по методу Крупского-Александровой. Образцы почвы отбирались в момент заготовки лекарственных растений на глубине от 0 до 50 см.

Коэффициент биологического поглощения рассчитывался по формуле:

$$\text{КБП} = I_x / n_x, \quad (1)$$

где  $I_x$  - содержание элемента в золе растений;

$n_x$  – содержание элемента в почвенном покрове.

Элементный состав эфирного масла получали методом пламенной атомной абсорбции на спектрофотометре «GBC 932 AA» с дейтериевым корректором фона в пламени ацетилен-воздух.

Полученные образцы эфирного масла багульника болотного были исследованы на бактерицидную активность по отношению к Enterobacteriaceae: Enterobacter cloacea, Proteus vulgaris, Escherichia coli, Citrobacter freundii, Pseudomonas aeroginosa, Klebsiella pneumoniae методом серийных разведений в мясопептонном бульоне. Санационные свойства эфирного масла изучали седиментационным методом Коха (1973) из расчета 0,025 мл масла на 1 м<sup>3</sup> помещения. Пробы для исследования брали на расстоянии 1 м от пола до санации, за-

тем через 15 минут, 1, 2, 3, 4 и 12 часов после санации. Микробное число подсчитывалось по правилу Омелянского (1981).

Для разработанной технологической схемы переработки растительного сырья рассчитывались коэффициенты безотходности, экологичности, определялись прибыль и рентабельность производства.

Статистическая обработка эмпирического материала осуществлялась с помощью программы «Stat», написанной на языке Turbo Pascal. В тексте автореферата данные, выходящие за пределы доверительных интервалов, не приводятся, поскольку во всех случаях стандартная ошибка не превышала 2 % от определяемой величины.

## ГЛАВА 3 Результаты исследований

### 3.1 Влияние разных факторов на локализацию, физико-химические характеристики и компонентный состав эфирного масла багульника болотного

Основное количество БАВ в багульнике болотном содержится в эфирном масле, которое в растении аккумулируется в двухклеточных и многоклеточных головчатых желёзках, а также в железистых волосках с крупными головками. Влияние фазы вегетации и места произрастания на локализацию эфирного масла не выявлено.

Эмпирически определена динамика процесса выделения эфирного масла багульника болотного (рис. 2).

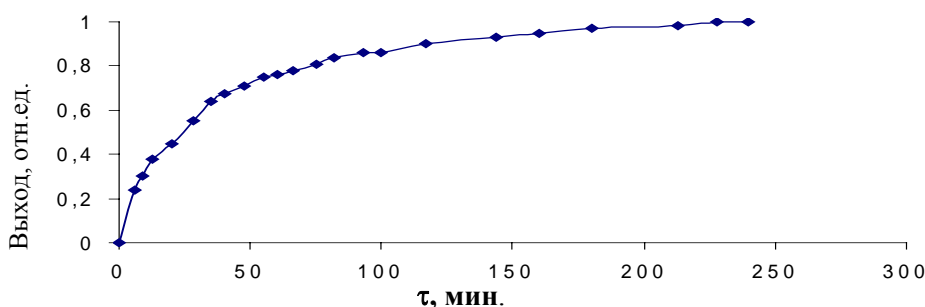


Рисунок 2 – Динамика выделения эфирного масла багульника болотного

Достоверной разницы по процентному выделению масла за определенный промежуток времени из сырья разных биотопов и фаз вегетации не установлено.

Как видно из данных, полученных в процессе отгонки, зависимость количества выделившегося масла от времени носит экспоненциальный характер, что определило выбор модели, описывающей процесс выделения масла:

$$P=f(\text{time})=(1-e^{-\tau \cdot \text{time}}),$$

где  $P$  – количество выделявшегося масла;

$\text{time}$  – время отгонки;

$\tau$  – переменная, определяющая наклон модели, для данной функции  $\tau=0,026$  – величина, определяемая программой исходя из наименьшего среднеквадратического отклонения ( $E_r(\tau)$ ).

$$Er(\tau) := \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{rows(kol)-1} \left[ \left( 1 - e^{-\tau \cdot time_i} \right) - kol_i \right]^2}{rows(kol)}}$$

где  $kol$  – количество выделившегося масла, полученного в ходе опыта.  
При данной модели  $Er(\tau)=0,029$ .

Определены основные физико-химические характеристики эфирного масла багульника болотного разных фаз вегетации и районов исследования (табл.1).

Таблица 1 – Физико-химические характеристики эфирного масла багульника болотного в зависимости от фазы его развития и места произрастания

Район исследований	Фаза развития багульника	Выход масла, % масс.	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Показатель преломления	Кислотное число	Эфирное число	Цвет масла
I	Цветение	0,64±0,01	0,9180	1,4824	3,33±0,07	22,3±0,05	Темно-зеленое
II		0,71±0,01	0,9160	1,4820	3,22±0,06	22,2±0,05	Зеленое
I	Плодоношение	1,95±0,03	0,9325	1,4813	3,90±0,08	37,9±0,08	Светло-желтое
II		1,61±0,03	0,9311	1,4812	3,8±0,08	36,8±0,07	Светло-желтое
I	Вторичная вегетация	1,19±0,02	0,9548	1,4828	3,32±0,07	30,9±0,06	Светло-зеленое
II		1,01±0,02	0,9444	1,4832	3,22±0,07	30,1±0,06	Светло-зеленое

Установлено, что содержание масла минимально в период цветения растения (0,64% и 0,71% массы воздушно-сухого сырья для первого и второго биотопа соответственно), в период плодоношения достигает максимальной величины (содержание возрастает почти в 2,6 раза) и несколько снижается ко времени вторичной вегетации (в 1,4 раза), при  $r > 0,999$ . При этом с каждой фазой вегетации плотность эфирного масла закономерно увеличивается (0,9180 → 0,9325 → 0,9548 г/см<sup>3</sup> – для сырья из первого биотопа, 0,9160 → 0,9311 → 0,9444 – для второго биотопа).

Показатель преломления (1,4810-1,4832) эфирного масла и кислотное число (3,32-3,9) практически не зависят от фазы вегетации багульника и района заготовки растительного сырья. Такой показатель как эфирное число заметно меняется (22,3-37,9) при этом достоверно более высокая величина эфирного числа наблюдается у масла из багульника в период плодоношения ( $r > 0,99$ ).

Установлены существенные различия в составе эфирного масла, полученного из сырья, заготовленного в разных районах и фазах вегетации растений (табл. 2). Так, из 34 идентифицированных методом хромато-масс-спектрологии компонентов эфирного масла багульника болотного Западных Саян основными в фазу цветения являются р-цимол (36,97%), терпенилацетат (30,43%), α-терпинен (10,45%), γ-терпинен (8,24%), ледол (5,17%), тогда как у эфирного масла из растительного сырья, собранного в эту фазу в Восточных Саянах, 31,64% концентрации приходится на мартенилацетат, 8,83% – на 4-терпинеол, 7,07% – на α-туенон (7,07%) и 6,0% – на β-фелландрен.



Таблица 2 – Влияние на состав эфирного масла багульника болотного фазы вегетации и места произрастания

Западные Саяны		Восточные Саяны	
компонент	концентрация, %	компонент	концентрация, %
Цветение			
p-цимол	36,97	Мартенилацетат	31,64
Терпенилацетат	30,43	4-терпинеол	8,83
α-терпинен	10,45	α-туенон	7,07
γ-терпинен	8,24	β-фелландрен	6,0
Ледол	5,17	Гермакрон	6,0
Гераниол	4,16	P-цимол	5,89
Плодоношение			
P-цимол	40,25	Мартенилацетат	26,25
Терпенилацетат	18,64	P-цимол	21,22
α-терпинен	11,24	2-карен	20,83
γ-терпинен	6,38	α-туенон	7,07
Ледол	2,79	4-терпинеол	6,42
Бронилацетат	2,69	γ-терпинен	3,38
Линалоол	2,23	Гермакрон	2,41
Вторичная вегетация			
Терпенилацетат	41,05	P-цимол	28,07
P-цимол	17,11	Гермакрон	22,19
α-терпинен	9,77	Мартенилацетат	19,92
Ледол	7,40	2-карен	8,3
Гермакрон	2,11	4-терпинеол	4,07

Следует отметить значительное содержание в эфирном масле, полученном из сырья, заготовленного в Западных Саянах, такого ценного в фармакологическом плане компонента, как ледол. Наибольшая его концентрация содержалась в период вторичной вегетации – 7,4 %.

### 3.2 Биохимический состав водного экстракта багульника болотного в зависимости от фазы вегетации и места произрастания

Поскольку эфирное масло составляет небольшой процент от общей суммы биологически активных веществ растения, рассмотрена возможность последующего извлечения из растительного сырья оставшегося количества БАВ методом водной экстракции.

Состав экстрактивных веществ, извлекаемых из багульника болотного водой, показан в таблице 3. Из табличных данных видно, что содержание дубильных веществ в исследуемых образцах за анализируемый период времени изменяется в два раза, причем наблюдается два максимума: в период цветения (июнь) и в период вторичной вегетации (в последних числах октября), содержание редуцирующих веществ и витамина С в багульнике болотном обоих регионов в течение фенологических фаз багульника незначительно уменьшается.

Таблица 3 – Состав водорастворимых веществ багульника болотного

Компонентный состав	Район исследований					
	I			II		
	июнь	август	октябрь	июнь	август	октябрь
Всего водорастворимых веществ, %	21,49	19,21	18,36	20,16	19,62	18,96
в том числе:						
дубильных веществ, %	7,4	5,3	7,9	5,7	3,4	6,1
редуцирующих веществ, %	8,3	7,8	7,2	6,8	5,9	5,5
витамина С, мг%	249,0	236,4	220,1	239,9	220,0	210,0

### 3.3 Миграция микро- и макроэлементов в системе «почва – растительное сырье – продукт, содержащий БАВ»

Выявлена значительная разница между районами исследований по содержанию в почве ряда химических элементов (табл.4). Так, в образцах почвы, отобранных в Западных Саянах, кобальта содержалось больше в 3,5 раза, марганца – в 8 раз и фосфора – в 2 раза, а в почвенных образцах с Восточных Саян наблюдалось превосходство по концентрации никеля (в 1,7 раза) и хрома (в 2,6 раза). Несмотря на большое удаление от промышленных центров (150-200 км), по концентрации ряда веществ в почве территории сбора растительного сырья не отвечают требованиям санитарных норм. Так, в почве первого района исследований меди содержится больше ПДК в 1,8-1,9 раза, кобальта – в 2,3-2,6 раза, в почве второго биотопа наблюдается превышение ПДК по меди в 1,6-2,0 раза, что, по-видимому, связано с высокой фоновой концентрацией данных элементов.

Таблица 4 – Содержание подвижной формы химических элементов в почве, мг/кг

Химический элемент	Район исследований						ПДК
	I			II			
	июнь	август	октябрь	июнь	август	октябрь	
Медь	5,6±0,2	5,8±0,1	5,5±0,11	4,7±0,1	6,1±0,1	5,2±0,1	3,0
Цинк	3,3±0,1	3,6±0,1	3,72±0,07	3,52±0,07	3,58±0,07	3,64±0,07	23,0
Кобальт	2,6±0,1	2,4±0,1	2,3±0,05	0,72±0,01	0,53±0,01	0,84±0,02	1,0
Фосфор	430,0±9	305,0±6	370,0±7	260,0±5	200,0±4	180,0±4	-
Марганец	293,0±6	305,0±6	310,0±6	38,4±0,8	28,1±0,6	19,6±0,4	-
Железо	287,0±6	159,0±3	178,0±4	300,0±6	320±6	300,0±6	-
Свинец	1,77±0,04	1,36±0,03	1,54±0,03	1,74±0,04	1,25±0,03	0,59±0,01	6,0
Кадмий	0,015±0,001	0,012±0,001	0,012±0,001	0,015±0,001	0,014±0,001	0,015±0,001	1,0
Никель	0,84±0,02	0,82±0,02	0,63±0,01	1,3±0,1	1,14±0,02	1,3±0,1	2,0
Хром	0,32±0,01	0,21±0,01	0,31±0,01	0,62±0,01	0,73±0,02	0,71±0,1	6,0

Однако превышения ПДК по содержанию тяжелых металлов в растительном сырье не наблюдалось, что позволяет использовать надземную часть багульника болотного в качестве экологически безопасного сырья для пищевых и лекарственных целей (табл. 5). Необходимо отметить высокое содержание марганца в багульнике из обоих регионов.

Таблица 5 – Содержание отдельных элементов в багульнике болотном в зависимости от места произрастания и фазы вегетации, мг/кг на воздушно-сухое сырье

Химический элемент	Район исследований						ПДК
	I			II			
	июнь	август	октябрь	июнь	август	октябрь	
Медь	3,72±0,07	2,96±0,06	2,9±0,1	3,96±0,08	3,52±0,07	2,57±0,05	-
Цинк	14,0±1	19,9±0,4	20,3±0,4	16,8±0,4	14,2±0,3	12,6±0,3	-
Кобальт	0,09±0,01	0,051±0,001	0,054±0,001	0,11±0,01	0,08±0,01	0,064±0,001	-
Фосфор	0,17±0,01	1,12±0,02	0,14±0,01	0,16±0,01	0,15±0,01	0,13±0,01	-
Марганец	340,0±7	300,0±6	280,0±6	314,0±6	272,0±5	210,0±4	-
Железо	74,0±2	34,3±0,7	58,6±1,2	75,5±1,5	60,1±1,2	70,0±1	-
Свинец	0,93±0,02	0,219±0,004	0,321±0,006	0,72±0,01	0	0,06±0,01	6,0
Кадмий	0,021±0,001	0,023±0,001	0,021±0,001	0,029±0,001	0,013±0,001	0,0048±0,0001	1,0
Никель	4,9±0,1	5,1±0,1	5,2±0,1	5,3±0,1	4,8±0,1	3,1±0,1	-
Хром	0,121±0,01	0,2±0,1	0,23±0,01	0,34±0,01	0,23±0,01	0,23±0,01	-

Рассчитаны значения коэффициентов биологического поглощения (КБП) химических элементов багульником болотным (табл. 6). Наиболее высокие показатели КБП наблюдались по цинку (от 39,91 до 63), марганцу (от 10,29 до 122,17), кадмию (от 7,65 до 22,65), никелю (от 27,19 до 94,0), которые в соответствии со шкалой И.А. Авессаламова (1987) отнесены к элементам энергичного накопления. К элементам сильного накопления в багульнике причислены железо, медь, хром, свинец, к элементам слабого накопления и среднего захвата – кобальт, к элементам очень слабого захвата – фосфор.

Таблица 6 – Коэффициенты биологического поглощения химических элементов и биогеохимическая активность багульника болотного

Химический элемент	Район исследований					
	I			II		
	июнь	август	октябрь	июнь	август	октябрь
КБП						
Медь	7,6±0,2	5,8±0,1	6,1±0,1	9,6±0,2	6,6±0,1	5,6±0,1
Цинк	48,4±0,9	63,0±1	62,0±1	54,0±1	45,2±0,9	39,9±0,8
Кобальт	0,39±0,01	0,24±0,01	0,25±0,01	1,79±0,04	1,82±0,04	0,86±0,02
Фосфор	0,0045±0,0001	0,043±0,001	0,0043±0,0001	0,0073±0,001	0,0092±0,0002	0,0081±0,0001
Марганец	13,2±0,3	11,22±0,22	10,3±0,2	93,0±2	110,0±2	122,0±2
Железо	2,93±0,06	2,46±0,05	3,75±0,08	2,87±0,06	2,14±0,04	2,66±0,05
Свинец	6,1±0,1	1,84±0,04	2,38±0,05	4,73±0,09	* -	1,17±0,02
Кадмий	11,8±0,2	20,53±0,41	19,9±0,4	22,7±0,5	10,9±0,2	7,7±0,2
Никель	70,0±1	71,0±1	94,0±2	43,9±0,9	49,8±0,9	27,2±0,5
Хром	3,8±0,1	11,4±0,2	7,6±0,2	5,5±0,1	3,12±0,06	3,21±0,06
БХА						
	164,0±3	188,0±4	207,0±4	239,0±5	230,0±5	210,5±4,2

\*- не определен по причине отсутствия элемента в растении.

На основе данных о КБП для количественного выражения общей способности растений к концентрации микроэлементов рассчитан специальный показатель - биогеохимическая активность (БХА). Установлено, что активность багульника болотного произрастающего в Восточных Саянах выше, нежели определенная для данного вида растений Западных Саян. При этом наблюдается тенденция уменьшения разницы по данному показателю в течение фенологических фаз. Так, разница по БХА растений в период цветения составляла 75, плодоношения – 42, вторичной вегетации – 3,5.

Для выявления факторов, влияющих на химический состав багульника болотного, была определена зависимость между содержанием элемента в почве ( $n_x$ ) и содержанием его в золе растений ( $I_x$ ). В большинстве случаев тесных корреляционных связей не обнаружено, лишь тенденция к увеличению  $I_x$  с увеличением  $n_x$  - это марганец и фосфор, а также тенденция к снижению  $I_x$  с увеличением  $n_x$ , что характерно для кобальта и меди. Достоверная зависимость к увеличению содержания элемента в золе с увеличением содержания в почвенном покрове выявлена лишь для железа и цинка (рис. 3, 4).

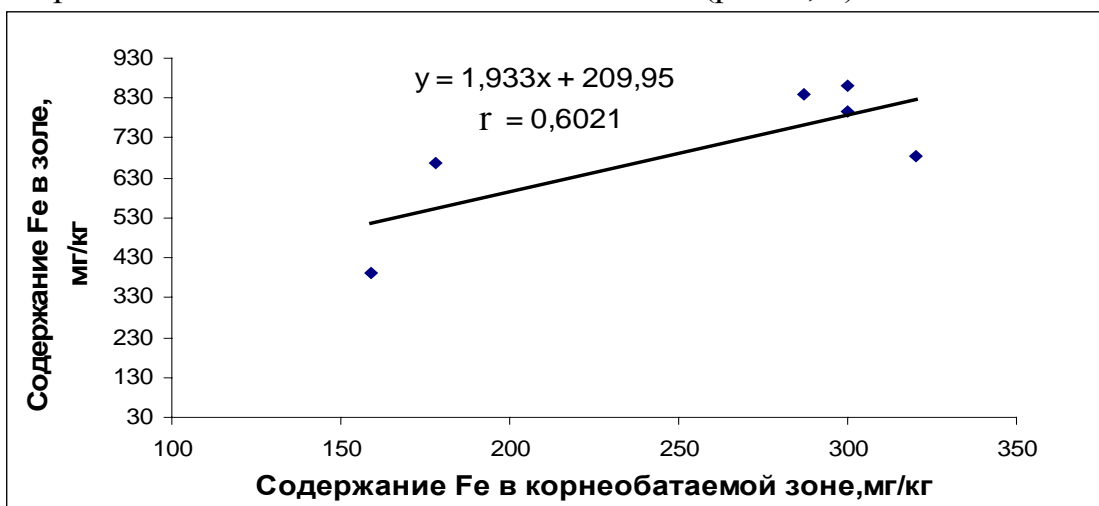


Рисунок 3 – Зависимость между содержанием Fe в почве и в багульнике болотном

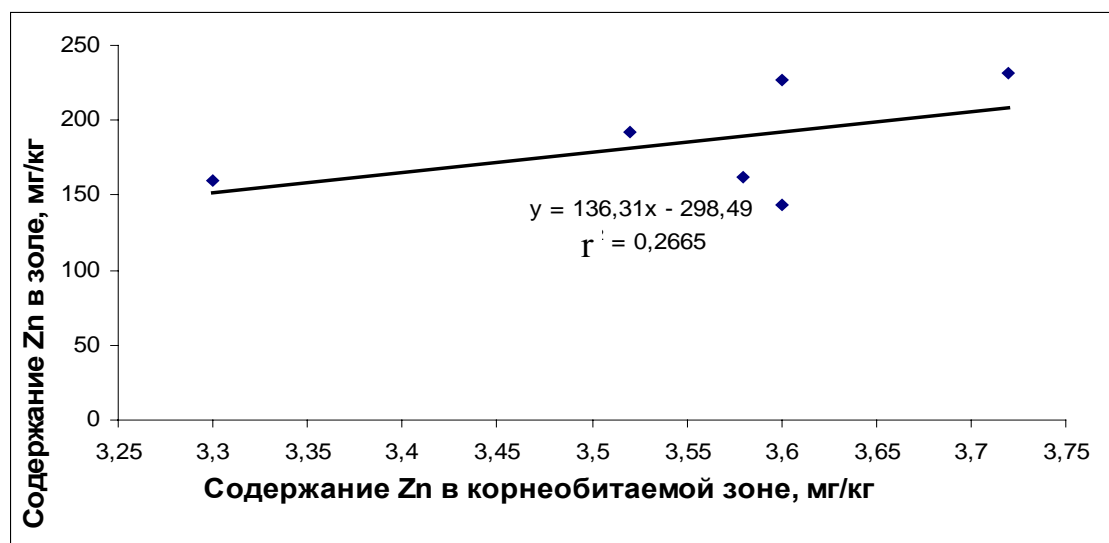


Рисунок 4 – Зависимость между содержанием Zn в почве и в багульнике болотном

При переработке багульника болотного получали эфирное масло и водный экстракт. Установлено, что миграция металлов в эфирное масло практически отсутствует, следовательно, для получения данного продукта можно заготавливать растительное сырье даже из сильно загрязненных поллютантами биотопов. Диапазон извлечения металлов в водный экстракт багульника болотного варьирует в широких пределах и составляет 5,3-39,7% (рис. 5). Наблюдается высокий процент перехода наиболее опасных поллютантов – свинца (23,2%), кадмия (39,7%), хрома (19,9%).

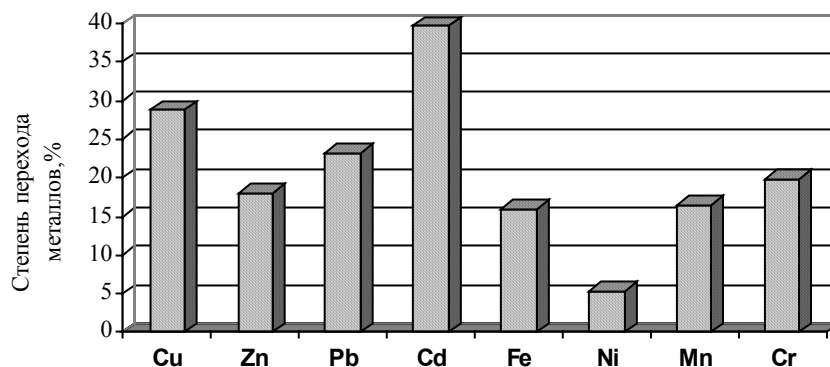


Рисунок 5 – Миграция металлов из лекарственного сырья в водный экстракт

### 3.4 Возможности использования эфирного масла багульника болотного для улучшения микроклимата помещений

Полученные образцы эфирного масла багульника болотного разных стадий вегетации были проанализированы на бактерицидную активность по отношению к семейству Enterobacteriaceae (табл. 7).

Таблица 7 – Бактерицидная активность эфирного масла, мкг/мл

Фаза вегетации багульника болотного	Тест-микроорганизмы					
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Proteus vulgaris</i>	<i>Enterobacter cloacae</i>	<i>Citrobacter freundii</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Klebsiella pneumonia</i>
Эфирное масло из сырья, заготовленного в Западных Саянах						
Цветение	3,9	3,9	7,8	3,9	3,9	7,8
Плодоношение	7,8	7,8	7,8	7,8	15,6	15,6
Вторичная вегетация	3,9	7,8	15,6	15,6	31,3	31,3
Эфирное масло из сырья, заготовленного в Восточных Саянах						
Цветение	7,8	7,8	15,6	7,8	7,8	15,6
Плодоношение	31,3	31,3	31,3	31,3	15,6	15,6
Вторичная вегетация	7,8	71,6	31,3	31,3	62,5	62,5

Наиболее выраженным бактерицидным эффектом обладает эфирное масло из сырья, заготовленного в Западных Саянах. Так, у данного масла минимальная подавляющая концентрация (МПК) ниже в фазу цветения в 2 раза, в фазу плодоношения по отношению к *Escherichia coli* *Enterobacter cloacae*, *Proteus vulgaris*, *Citrobacter freundii* – в 4 раза, в фазу вторичной вегетации к *Proteus vulgaris* – в 9 раз и к другим микроорганизмам – в 2 раза. В целом, наибольшей бактерицидной активностью обладает масло, приготовленное из растений фазы

цветения. Бактерицидный эффект эфирного масла багульника болотного сопоставим с бактерицидностью таких антибиотиков, как фурацилин и сангвиритрин.

Получены данные (табл. 8) о несколько меньших санационных свойствах эфирного масла из багульника, заготовленного в Восточных Саянах, а также масла из растений фазы вторичной вегетации.

Таблица 8 – Влияние на эффективность санации воздуха эфирным маслом багульника болотного места произрастания и фазы вегетации

Фаза вегетации багульника болотного	Концентрация микроорганизмов в 1м <sup>3</sup> воздуха						
	до санации	через 0,25 ч	через 1ч.	через 2ч.	через 3 ч.	через 4ч.	через 12 ч.
Растительное сырье из Западных Саян							
Цветение	6854	<u>2324</u> -66	<u>1956</u> -71	<u>1645</u> -76	<u>2449</u> -64	<u>2767</u> -60	<u>4087</u> -40
Плодоношение	6589	<u>2675</u> -59	<u>2435</u> -63	<u>1876</u> -72	<u>1478</u> -78	<u>1578</u> -76	<u>3756</u> -43
Вторичная вегетация	6456	<u>4546</u> -30	<u>3245</u> -50	<u>2978</u> -54	<u>2756</u> -67	<u>3123</u> -53	<u>3700</u> -43
Растительное сырье из Восточных Саян							
Цветение	7014	<u>2636</u> -63	<u>2225</u> -68	<u>1864</u> -73	<u>2626</u> -63	<u>3024</u> -60	<u>4820</u> -31
Плодоношение	6986	<u>3042</u> -56	<u>2846</u> -59	<u>2214</u> -68	<u>1826</u> -74	<u>1830</u> -74	<u>3950</u> -43
Вторичная вегетация	6894	<u>5012</u> -27	<u>4030</u> -42	<u>3264</u> -53	<u>3028</u> -56	<u>3500</u> -49	<u>3900</u> -43

Примечание: В числителе – в абсолютных числах; в знаменателе – динамика, %.

Так, при использовании эфирного масла, приготовленного из растений данной фазы (место заготовки сырья – Западные Саяны), концентрация микроорганизмов через 15 мин. после санации снизилась на 30%, из масла фазы плодоношения – на 59%, из масла фазы цветения – на 66%.

Нами был проведен сравнительный анализ санационных свойств эфирного масла, полученного из разных видов растений. По степени убывания эффективности санации виды можно расположить следующим образом: сосна сибирская → багульник болотный → пихта сибирская → сосна обыкновенная.

### 3.5 Технологическая схема комплексного использования багульника болотного

Современные технологии переработки багульника болотного в основном базируются на получении только эфирного масла, которого содержится 0,5-2% от массы сырья в воздушно-сухом состоянии. После извлечения эфирного масла остаются неиспользованными водо- и жирорастворимые вещества. Поэтому предложена схема комплексной переработки багульника болотного, предусматривающая наиболее полное извлечение всех составляющих БАВ, что позволяет не только получать продукцию с низкой себестоимостью, но, и обеспечить рациональное использование данного вида растений, из-за сокращения потребности в сырье.

Технологическая схема включает: подготовку растительного сырья к выделению эфирного масла; выделение эфирного масла методом перегонки с па-

ром; экстракцию твердого остатка водой (рис. 6).

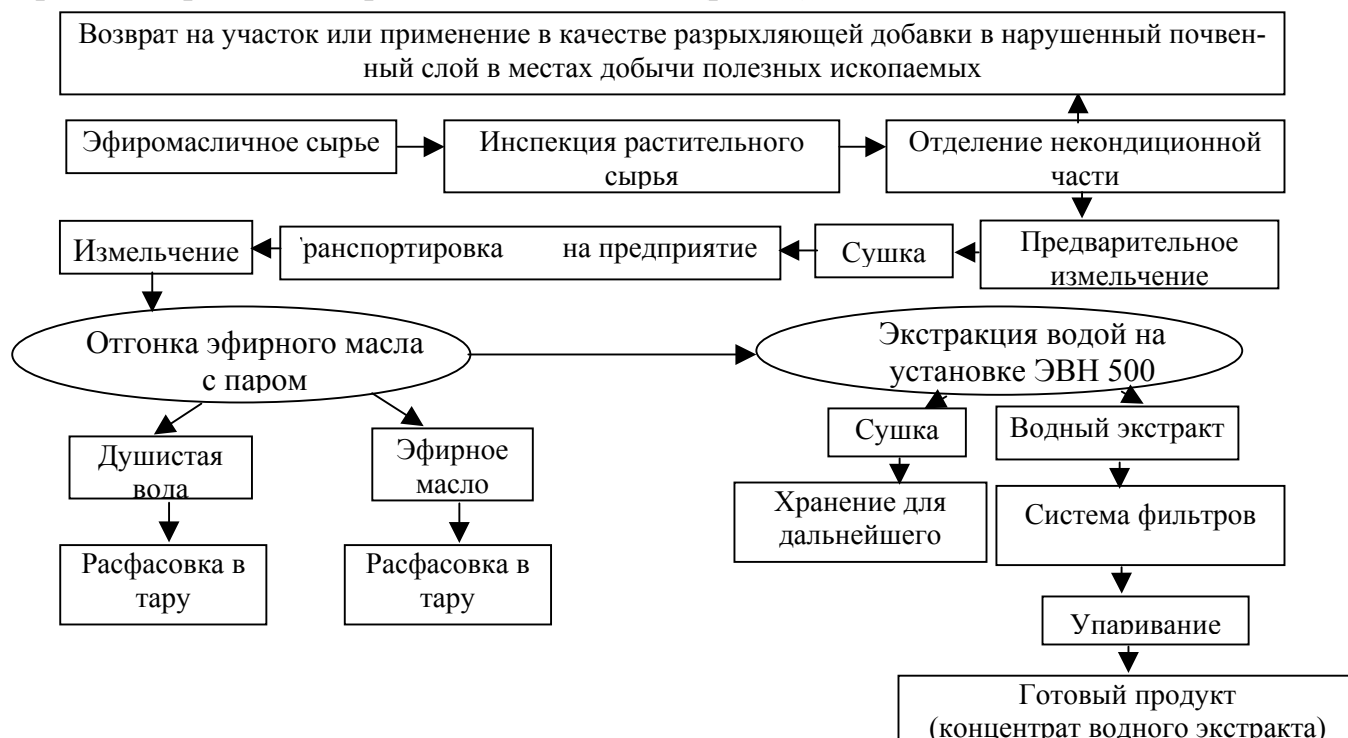


Рисунок 6 – Схема комплексной переработки багульника болотного

При этом коэффициент безотходности переработки растительного сырья составляет 0,92 (условно-безотходная технология); коэффициент полноты использования материальных ресурсов, описывающий степень замкнутости технологического процесса на «входе» и «выходе» по отношению к окружающей среде – 0,94; коэффициент экологичности, характеризующий интенсивность воздействия процесса на окружающую среду – 0,98.

Анализ эффективности предложенной технологической схемы переработки багульника болотного производился путем расчета прибыли от основной деятельности и определения рентабельности (табл. 9).

Таблица 9 – Расчет прибыли от основной деятельности

Наименование продукции	Количество произведенной продукции	Объем фасованной продукции	Стоимость одной штуки, руб.	Суммарная стоимость, тыс.руб.
Эфирное масло	184 л*	12267 флаконов по 15мл	200	2453,4
Душистая вода	82800л	331200 флаконов по 250мл	22	7286,4
Экстрактивные вещества	2024кг**	40480 шт. 50гр.	20	809,6
Итого	-	-	-	10549,4
Затраты на производство и реализацию	-	-	-	4380,1
Прибыль	-	-	-	6169,3
Рентабельность	-	-	-	140,8%

\*184л=9200кг (годовой объем потребления растительного сырья)•2% (выход эфирного масла от массы воздушно-сухого сырья)

\*\*2024=9200кг•22% (процент извлечения экстрактивных веществ водой).

Следует отметить, что прибыль за год составит 6169,3 тыс. руб., что на 40,8 % больше издержек производства при уровне рентабельности 140,8%. Такие результаты деятельности свидетельствуют о высокой степени эффективности производства, которая достигается за счет комплексной переработки сырья.

### **Выводы**

1. Процесс выделения эфирного масла составляет не менее 240 минут и описывается экспоненциальным уравнением, предложенным в работе.
2. Содержание эфирного масла минимально в период цветения растения (0,64-0,71 % массы воздушно-сухого сырья), в период плодоношения достигает максимальной величины (содержание возрастает почти в 2,6 раза) и несколько снижается ко времени вторичной вегетации (в 1,4 раза), при  $r > 0,999$ . При этом с каждой фазой вегетации плотность эфирного масла закономерно увеличивается. Показатель преломления (1,4810-1,4832) эфирного масла и кислотное число (3,32-3,9) практически не зависят от фазы вегетации багульника и района заготовки растительного сырья.
3. Установлено значительное влияние на состав эфирного масла места произрастания и фазы вегетации растений. В эфирном масле, полученном из сырья из Западных Саян, содержится значительное количество ледола, особенно в период повторной вегетации (7,4 %).
4. В надземной части багульника болотного содержится значительное количество нелетучих биологически активных веществ (13,3-18,96 %), таких как фенолы, кумарины, оксибензойные кислоты и др., извлекаемых из исходного сырья различными экстрагентами.
5. Содержание дубильных веществ в анализируемых образцах растения в течение вегетации увеличивается с 3,4 до 7,9 %, количество редуцирующих веществ и витамина С уменьшается с 8,3 до 5,5 % и с 249,0 до 210,0 мг % соответственно.
6. Багульник болотный, заготовленный на территории Западных и Восточных Саян, может использоваться как лекарственное растительное сырье, отвечающее санитарно-гигиеническим требованиям по содержанию тяжелых металлов.
7. К элементам энергичного накопления багульником относятся цинк (КБП=39,91-63), марганец (КБП=10,29-122,17), кадмий (КПБ=7,65-22,65), никель (КПБ = 27,19 - 94,0). По биогеохимической активности наблюдается превосходство багульника из Восточных Саян.
8. Содержание микроэлементов в растительном сырье практически не зависит от содержания подвижных форм в почвенном покрове, кроме Fe и Zn, для которых выявлена достоверная тенденция к увеличению их содержания с ростом их количества в почвенном покрове.
9. Обнаружена зависимость уровня миграции металлов из лекарственного сырья от ассортимента получаемых продуктов. Так, наблюдается высокий процент перехода наиболее опасных поллютантов – свинца (23,2 %), кадмия (39,7 %), хрома (19,9 %) в водные экстракты, а для получения эфирного масла можно использовать растения даже из сильно загрязненных биото-



пов, поскольку миграции из них тяжелых металлов в данный продукт практически не происходит.

10. Бактерицидный эффект эфирного масла багульника болотного зависит от фазы вегетации растения и сопоставим с бактерицидностью таких антибиотиков, как фурацилин и сангвиритрин. Распыление масла в рабочей зоне помещения из расчета 0,025 мл/м<sup>3</sup> через 2-3 ч приводит к гибели до 76-78 % микроорганизмов. По степени убывания эффективности санационных свойств эфирного масла виды растений можно расположить следующим образом: сосна сибирская → багульник болотный → пихта сибирская → сосна обыкновенная.
11. Предложена технологическая схема переработки багульника болотного с получением эфирного масла и концентрата водного экстракта растительного сырья ( $K_6 = 0,92$ , рентабельность – 140,8 %).

### **Практические рекомендации**

1. Организациям, занимающимся заготовкой багульника болотного, главным образом, для производства медицинских препаратов на основе ледола – компонента эфирного масла багульника, обладающего противокашлевыми свойствами, целесообразно проводить сбор сырья на территории Западных Саян в период вторичной вегетации.

2. Предприятиям, перерабатывающим растительное сырье, для эффективного извлечения биологически активных веществ из эфиромасличного лекарственного сырья, целесообразно применить предложенный способ технологической схемы комплексной переработки багульника болотного.

3. Для получения наиболее полного компонентного состава эфирного масла багульника болотного процесс отгонки эфирного масла методом дистилляции проводить не менее 240 минут.

### **Список опубликованных работ**

1. Алякин А.А. Динамика выделения и физико-химические показатели эфирного масла багульника болотного / А.А. Алякин, С.В. Качин, А.А.Ефремов, Н.А.Поляков // Вестник Красноярского государственного университета. – 2006. – № 2. – С. 105-107.

2. Поляков Н.А. Динамика получения эфирного масла багульника болотного и его компонентный состав / Н.А. Поляков // Актуальные проблемы современной науки и пути их решения: мат-лы V межвуз. науч. конф. асп. / Краснояр. гос. торг.-экон. ин-т. – Красноярск, 2005. – С. 187-191.

3. Поляков Н.А. Закономерности выделения эфирного масла багульника болотного и его компонентный состав / Н.А. Поляков, А.А. Ефремов, И.А. Кызингашева // Молодежь и наука – третье тысячелетие: мат-лы Всерос. науч. конф. студ., асп. и мол. уч. / Краснояр. гос. ун-т цветных металлов и золота. – Красноярск, 2005. – С. 353-356.

4. Поляков Н.А. Видовая изменчивость багульника болотного и ее влияние на состав эфирного масла / Н.А. Поляков // Актуальные проблемы современной науки и пути их решения: мат-лы VI межвуз. науч. конф. асп. / Краснояр. гос. торг.-экон. ин-т. – Красноярск, 2006. – С. 234-238.

5. Веретнова О.Ю. Природа экстрактивных веществ багульника болотного, произрастающего в Красноярском крае / О.Ю. Веретнова, Н.А. Поляков, А.А. Ефремов // Эколого-экономические проблемы региональных рынков товаров и услуг: мат-лы Межрегион. науч.-практ. конф. (25 мая 2006 г., г. Красноярск) / Краснояр. гос. торг.-экон. ин-т. – Красноярск, 2006. – С. 327-337.

6. Бондаренко С.С., Поляков Н.А., Ефремов А.А. Эфирное масло хвои кедра сибирского – основа производства бальзамов парфюмерно-косметического назначения / С.С. Бондаренко, Н.А. Поляков, А.А. Ефремов // Эколого-экономические проблемы региональных рынков товаров и услуг: мат-лы Межрегион. науч.-практ. конф. (25 мая 2006 г., г. Красноярск) / Краснояр. гос. торг.-экон. ин-т. – Красноярск, 2006. – С. 94-98.

7. Поляков Н.А. Закономерности гидродистилляции эфирного масла багульника болотного и его компонентный состав / Н.А. Поляков, Д.Г. Слащинин, И.А. Кызингашева // Студенческая наука – взгляд в будущее: мат-лы Всерос. студ. науч. конф. Ч.2/ Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2006. – С. 27-29.

8. Бородина Е.Г. Исследование природы биологически активных веществ эфирного масла мяты перечной Красноярского края / Е.Г. Бородина, Н.А. Поляков, Т.А. Маляр // Студенческая наука – взгляд в будущее: мат-лы Всерос. студ. науч. конф. Ч. 2/ Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2006. – С. 35-36.

9. Поляков Н.А. Химический состав и санационные свойства эфирного масла кедровой сосны сибирской / Н.А. Поляков, Д.Г. Слащинин, Д.А. Гончаров // Студенческая наука – взгляд в будущее: мат-лы Всерос. студ. науч. конф. Ч. 2. / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2006. – С. 37-40.

10. Веретнова О.Ю. Природа экстрактивных веществ багульника болотного, произрастающего в Красноярском крае / О.Ю. Веретнова, Н.А. Поляков, А.А. Ефремов // Химия растительного сырья. – 2007. – № 2. – С. 67-72.

11. Поляков Н.А. О химическом составе эфирного масла багульника болотного / Н.А. Поляков // Современные тенденции развития АПК в России: мат-лы V Междунар. науч.-практ. конф. мол. уч. Сибирского федерального округа / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2007. – С. 395-398.

12. Поляков Н.А. Некоторые особенности химического состава эфирного масла багульника болотного / Н.А. Поляков, Д.Г. Слащинин, А.А. Ефремов // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: мат-лы III Всерос. конф. (23-27 апреля 2007 г.): в 3 кн. / под ред. Н.Г. Базарновой, В.И. Маркина. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2007. – Кн. 2. – С. 124-128.

13. Поляков Н.А. Миграция микро- и макроэлементов в системе почва надземная часть багульника болотного / Н.А. Поляков, А.А. Ефремов, Г.Г. Первышина // Пищевые технологии, качество и безопасность продуктов питания: мат-лы докл. Всерос. мол. НПК. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – С. 6-9.

14. Поляков Н.А. Исследование биохимических свойств эфирного масла *Ledum Palustre* L. для применения в пищевой промышленности / Н.А. Поляков, А.А. Ефремов // Вода и пищевые продукты: мат-лы международной научно-практической конференции (Москва, 11-13 марта, 2008 г.). – М.: ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2008. – С. 153.