На правах рукописи

ЛУЦКАН ЕВГЕНИЯ НИКОЛАЕВНА

ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ БЕРЕЗЫ ПЛОСКОЛИСТНОЙ (*Betula platyphylla Sukacz.*) КАК КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ И ТЕРРИТОРИЙ, ПОДВЕРЖЕННЫХ АНТРОПОГЕННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ (на примере Алданского района Республики Саха (Якутия))

03.02.08 – экология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Якутск – 2016

Работа выполнена на кафедре биологии Института естественных наук ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова».

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор **Шадрина Елена Георгиевна**

Официальные оппоненты: **Жуйкова Татьяна Валерьевна**, доктор биологических наук, доцент, декан факультета естествознания, математики и информатики Нижнетагильского государственного социально-педагогического института (филиал) ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет»

Филиппова Галина Валерьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологической медицинской биохимии, биотехнологии и радиационной биологии ФГБУН «Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН»

Ведущая организация: **ФГБУН Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, г. Москва**

Защита состоится «15» июня 2016 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного Совета Д *212.306.03* при ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова» по адресу: 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58; e-mail: dsovet_nefu@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова» и на официальном сайте www.s-vfu.ru

Автореферат разослан «__» апреля 2016 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Данилова Надежда Софроновна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Считается, что степень сложности экологических проблем города находится в прямой зависимости от его величины, однако даже на территории малых и средних городов антропогенное воздействие приводит к трансформации всех компонентов экосистем и ухудшению качества среды. Большинство городов на территории Республики Саха (Якутия) относятся к категории малых и средних – их население редко превышает 20 тыс. человек. К таковым относится г. Алдан с численностью населения 26 800 человек (Город Алдан…, 2014). Несмотря на важность физико-химических анализов, обеспечивающих получение базовой информации о концентрации различных поллютантов и физических изменениях, биологическая оценка качества среды остается приоритетной, поскольку дает возможность ее интегральной характеристики. Для селитебных территорий в целом характерно одновременное действие множества экологических факторов, и только использование методов биоиндикации позволяет оценить суммарное негативное воздействие на организм и экосистему. Одним из наиболее удобных биоиндикационных подходов к оценке состояния наземных экосистем является морфогенетический, при котором оценивается стабильность развития организма по морфологическим показателям, а в качестве основного критерия используется флуктуирующая асимметрия (ФА) (Захаров, Кларк, 1993; Захаров и др., 2001а).

Цель исследования выявление показателя нарушения стабильности развития березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz.) для оценки качества среды природных и антропогенных территорий Алданского района Республики Саха (Якутия).

Задачи исследования:

- оценка стабильности развития березы плосколистной природных и антропогенных территорий Южной Якутии по величине флуктуирующей асимметрии листовой пластинки;
- оценка влияния загрязнения почвенного покрова и атмосферного воздуха на показатели ФА березы плосколистной;
- оценка влияния автотранспорта на показатели ФА березы плосколистной;
- выполнение экологического картирования территории г. Алдана по показателю ФА березы плосколистной.

Научная новизна. Впервые получены данные по биоиндикационной оценке качества среды на территории населенных пунктов Алданского района РС (Я), проведено экологическое картирование г. Алдана. Выявлена зависимость показателя ФА березы плосколистной от микроэлементного состава почвогрунтов и транспортной нагрузки.

Теоретическая и практическая значимость. Работа содержит новые сведения о влиянии загрязнения почвенного покрова, атмосферного воздуха и накопления микроэлементов в тканях растений на показатели ФА березы плосколистной. Полученные данные позволят выявить места, наиболее подверженные антропогенному воздействию и нуждающиеся профилактических и срочных мероприятиях по защите окружающей среды. Результаты исследований могут использоваться при подготовке информационных справок о состоянии и охране окружающей среды Министерство охраны природы РС (Я), а также послужить научно-информационной основой при разработке государственных программ в области охраны окружающей среды и других муниципальных программ Алданского района. Материалы данного исследования были заложены в основу Межведомственной целевой программы «Здоровый город» на 2013-2017 гг. в рамках проекта Европейского регионального бюро Всемирной организации здравоохранения «Здоровые города, районы, поселки» (Череповец, 2011;Якутск, 2012), подтверждено актом о внедрении от 10.12.2013 г. Реализация предложений организационного характера позволит более эффективно использовать имеющиеся ресурсы природоохранных ведомств и экологических организаций, повысить степень и качество подготовки программ по охране окружающей среды. Полученные материалы могут быть использованы в биомониторинговых исследованиях, а также в учебном процессе при подготовке специалистов-экологов.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Селитебные территории Алданского района характеризуются ухудшением качества среды, что прослеживается как на организменном уровне (нарушения стабильности развития), так и на экосистемном (накопление загрязнителей в почве).

2. Загрязнение территории населенных пунктов Алданского района связано, в первую очередь, с элементами, отражающими геохимическую специфику региона, при этом на показатель ФА березы плосколистной влияет в основном поверхностное загрязнение почвенного покрова.

3. Показатель ФА древесных растений можно применять как один из методов экологического мониторинга для оценки состояния окружающей среды в районах, где отсутствуют химико-аналитические лаборатории.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследования были доложены на XIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Нерюнгри, 2012) на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современные проблемы мерзлотного почвоведения и прикладной экологии Севера» (Якутск 2013), на ежегодных научно-практических конференциях ФГАОУ ВПО «СВФУ им. М.К. Аммосова» («Аспирантские чтения» (Якутск, 2012), «Лаврентьевские чтения» (Якутск, 2011, 2012)).

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 7 работ, в том числе 3 в научных журналах, включенных в перечень ВАК РФ.

Личный вклад автора. Автором лично проведены литературный обзор, полевые исследования, обработка собранного материала и фондовых материалов, статистическая обработка, анализ и интерпретация результатов, а также написание диссертационной работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, рекомендаций и списка использованной литературы. Общий объем составляет 137 страниц, включает 20 таблиц, 26 рисунков. Список используемых литературных источников представлен 246 наименованиями.

Автор выражает благодарность научному руководителю Шадриной Е.Г. В сборе материала для представленной работы оказывали содействие и товарищескую помощь А.Е. Медяник, Т.Е. Науменко, А.Ю. Ставчиков, О.А. Перфильев, О.А. Ушкарева. Материал для сравнения по Эльконскому горсту предоставлен к.б.н. В.Ю. Солдатовой, по г. Алдану и пос. Н.Куранах – Н.В. Осинцевой. Видовая принадлежность березы плосколистной подтверждена к.б.н. А.А. Егоровой. Химико-аналитические исследования выполнены в лаборатории физико-химических методов анализа НИИ Прикладной экологии Севера СВФУ им. М.К. Аммосова под руководством к.б.н., Я.Б. Легостаевой, которая также помогала нам в интерпретации результатов анализов. За помощь в разработке карт выражаю благодарность к.б.н., В.С. Макарову и специалистам ГБУ РС (Я) «РИАЦЭМ».

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Исследования флуктуирующей асимметрии как показателя нарушения стабильности развития и критерия оценки экологической обстановки

В главе содержится анализ литературы о биоиндикационном подходе в мониторинге состояния окружающей среды, в том числе о применении растений в биоиндикации, различных реакциях растений на негативные воздействия окружающей среды. Рассмотрены литературные данные о распространенности и классификации явлений асимметрии в живой природе, а также о применении показателей ФА в экологических исследованиях.

Глава 2. Физико-географическая и экологическая характеристика района

Раздел 2.1 «Физико-географическая характеристика» Исследуемая территория занимает южную часть республики между 57-м и 60°с.ш. и входит в Алданскую геоморфологическую область, характеризующуюся разнообразным и сложно построенным рельефом, где имеются и высокогорные хребты с альпинотипным обликом, и обширные плоскогорья, и плато и межгорные впадины, отличается резко-континентальный климатом, с большой разницей между летними и зимними температурами. В районе многолетняя мерзлота не имеет сплошного распределения. Основные типы почв мерзлотные палево-бурые почвы, буроземы и зональные подзолистые почвы. Флора имеет бореальный и горно-таежный характер. На территории Южной Якутии сосредоточены основные леса Якутии на площади более 28 млн. га, господствующей лесообразующей породой является лиственница Каяндера.

Раздел 2.2 «Экологическая характеристика района исследования» Территория Алданского района характеризуется сложными экологическими условиями. С одной стороны, она отличается относительно мягким (по сравнению с остальной территорией Якутии) климатом. С другой стороны, специфика Алданской геоморфологической области, особенно Алданского щита, тесно связана с различными рудопроявлениями, что накладывает отпечаток на эколого-геохимические условия. Открытие и эксплуатация месторождений золота привели к развитию населенных пунктов, сети автодорог, а открытая и дражная разработка месторождений – к трансформации почвенного и растительного покрова на значительных территориях.

Глава 3. Материал и методы исследования

Объектом для определения степени нарушения стабильности развития была выбрана береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukacz.), выбор данного вида объясняется широким распространением на территории Якутии, в том числе и Алданском районе. Материал собран в период 2010-2013 гг. в пределах природных и селитебных территорий Алданского района. Всего собрано и промерено 5 360 шт. листьев. Характеристика точек сбора материала приведена в табл. 1.

Сбор материала проводили согласно методике оценки состояния популяций по показателям нарушения стабильности развития (Захаров и др., 2000; Методические…, 2003). Собирали листья с укороченных побегов из нижней части кроны дерева с максимального количества доступных веток равномерно по всему периметру после полной остановки роста листовой пластинки (в Якутии начиная с середины июля). Каждая выборка включала в себя от 50 до 100 листьев. Привязку к местности проводили с помощью навигационной программы «SAS.Планета». Для длительного хранения материал зафиксировали в 60%-ном растворе этилового спирта.

Для оценки влияния загрязнения почвенного покрова на стабильность развития березы плосколистной в 2013 г. было проведено опробование в 24 точках произрастания березы. Пробы отбирали с поверхности 0-10 см и на глубину до 10-20 см. Пробы растительности для биогеохимических исследований отбирались в тех же точках. Анализы проведены в лаборатории физико-химических методов анализа НИИПЭС СВФУ. Для проб почвы проанализировано содержание нефтепродуктов и 10 микроэлементов, для проб растительности - 30 микро- и макроэлементов.

Оценка транспортной нагрузки проводилась в 2013 г. на 10 участках. Подсчитывалось число автомашин, проезжающих по улице в обе стороны за 15 минут в часы пик (с 8 до 9 утра) и производился перерасчет на количество автомашин в час (Федорова, Никольская, 2003), а также рассчитывалась бальная нагрузка с учетом коэффициента токсичности по выбросам в атмосферный воздух окиси углерода для автотранспорта, работающего на бензиновом топливе (Муромцева, 2013).

Кроме того, проведен анализ состояния окружающей среды на территории МО «Алданского района» по статистическим отчетам разных министерств и ведомств РС (Я).

Таблица 1

Характеристика точек сбора материала на территории Алданского района, 2010-2013 гг.

№	Название улицы (района)	Характеристика точки сбора	Годы сбора мат-ла
1	*2*	*3*	*4*
1	г. Алдан, окраина города	Смешанный лес. Средневозрастные деревья генеративного возраста, разнотравный покров.	2011, 2013
2	г. Алдана, ул. Комарова 27	Молодые деревья генеративного возраста, разнотравный покров. Почвенный покров загрязнен мусором (битое стекло).	2010-2013
3	г. Алдан, двор детского сада,	Одиночные деревья генеративного возраста, разнотравный покров.	2010-2013
4	г. Алдан, ул. Заортосалинская, д. 72	Молодые одиночные деревья, разнотравный покров, **20 м от дороги, 100 м от котельной «АРМЗ»**. Почвенный покров загрязнен сажей.	2010, 2012, 2013
5	г. Алдан, ул. Билибина 48	Средневозрастные деревья, разнотравный покров, **5 м от дороги**. Почвенный покров загрязнен мусором (битое стекло).	2010-2013
6	г. Алдан, ул. Билибина 12	Молодые деревья генеративного возраста, произрастают одиночно во дворе дома, **20 м от дороги**.	2010-2013
7	г. Алдан, совхозное поле	Молодые деревья, генеративного возраста произрастают поодиночно, разнотравный покров, территория промзоны, **10 м от грунтовой дороги**.	2010-2013
8	г. Алдан (в), 2-й км трассы М56	Молодые одиночные деревья генеративного возраста, разнотравный покров, **5 м от трассы**. Почвенный покров загрязнен сажей.	2013
9	г. Алдан, СОТ «Тамарак»	Молодые деревья генеративного возраста, разнотравный покров, **10 м от грунтовой дороги**.	2010-2013
10	г. Алдан, 5-й км трассы М56	Средневозрастные деревья, разнотравный покров, **5 м от трассы, остановка рейсовых автобусов**.	2013
11	г. Алдан, ул. Слепнева 59	Средневозрастные одиночные деревья, территория поликлиники, **20 м от дороги**.	2010-2013
12	г. Алдан, ул. 2-ой квартал	Средневозрастные одиночные деревья, **5 м от дороги (гравий)**.	2010, 2012, 2013
13	г. Алдан, окраина мкр. Васино поле	Молодые деревья, разнотравный покров, **10 м от грунтовой дороги**.	2010-2013
14	МГ ВСТО	Средневозрастные деревья генеративного возраста, **10 м от грунтовой дороги**.	2013

Продолжение табл. 1

1	*2*	*3*	*4*
15	г. Алдан, р. Тамарак	Молодые деревья генеративного возраста, разнотравный покров, **10 м от полевой дороги.**	2010, 2013
16	г. Алдан, 9-й км трассы М56	Средневозрастные деревья генеративного возраста, разнотравный покров, **5 м от трассы, остановка рейсовых автобусов**. Почвенный покров загрязнен мусором (стекло, пластик).	2013
17	п. Нижний Куранах, центр	Средневозрастные одиночные деревья, двор дома, территория не асфальтированная. **50 м от дороги, 500 м от ЗИФ.**	2010, 2013
18	п. Нижний Куранах, трасса М56	Средневозрастные деревья, разнотравный покров, **5 м от трассы, 1,5 км от ЗИФ**. Почвенный покров загрязнен мусором (битое стекло).	2013
19	с. Якокит, 39-й км трассы М56	Средневозрастные деревья, разнотравный покров, **5 м от трассы**.	2013
20	с. Якокит, двор домов	Средневозрастные одиночные деревья, возле частного дома, **10 м от грунтовой дороги, 100 м от котельной.** Почвенный покров загрязнен сажей.	2013
21	г. Томмот, лесхоз	Молодые деревья, разнотравный покров. **2 м от грунтовой дороги, 10 м от лесохозяйственного предприятия**.	2010, 2013
22	г. Томмот, 65-й км трассы М56	Молодые одиночные деревья, **2 м от трассы**.	2013
23	с. Улуу, двор жилых домов	Средневозрастные одиночные деревья, двор домов, **100 м от дороги, 50 м от АЗС**.	2013
24	с. Улуу, 221-й км трассы М56	Молодые одиночные деревья, **15 м от трассы (гравийное покрытие)**.	2013
25	с. Верхний Куранах	Молодые деревья. Смешанный лес, зеленомошный покров, **1 км от трассы**.	2010, 2011,2013

Примечание: СОТ – садово-огородническое товарищество;
МГ ВСТО – магистральный газопровод «Восточная Сибирь – Тихий Океан»;
АРМЗ – Алданский ремонтно-механический завод.

Для оценки величины ФА использовали признаки строения и жилкования листовой пластинки. Листья промерялись в программе Bio, после сканирования с помощью программы ABBYYFineReader 9.0 на сканере BrotherDCP-7057R, линейные измерения производили с точностью до 0,1 мм, и угловые – до 0,1°. Величина флуктуирующей асимметрии у растений оценивались с помощью интегрального показателя – величины среднего относительного различия на признак (среднего арифметического отношения разности к сумме про-

меров листа слева и справа, отнесенные к числу признаков). Для оценки качества среды применялась шкала, предложенная В.М. Захаровым с соавторами (2000; табл. 2).

Таблица 2

Бальная шкала оценки качества среды по показателям нарушения стабильности развития березы плосколистной

Показатель ФА	Состояние среды	Балл
менее 0,040	Условно нормальное	I
0,040-0,044	Начальные, незначительные отклонения от нормы	II
0,045-0,049	Средний уровень отклонений от нормы	III
0,050-0,054	Существенные отклонения от нормы	IV
свыше 0,055	Критическое состояние	V

Статистическая обработка результатов проводилась в программах MicrosoftExcel2010 и Statistica 6.0. Для выявления статистических различий между величинами показателя ФА при парном сравнении использовали t-критерий Стьюдента (Лакин, 1980). Для оценки силы корреляционных связей использовали коэффициенты Пирсона и Спирмена (Глотов и др., 1982; Ивантер, Коросов, 2005).

Глава 4. Результаты и их обсуждение

4.1. Показатели флуктуирующей асимметрии березы плосколистной в условиях антропогенного воздействия на примере Алданского района

Одной из особенностей рода *Betula* является способность успешно произрастать как в природных биотопах так и в искусственно созданных санитарно-защитных насаждениях на городской и промышленной территориях, что делает березу удачным объектом для проведения работ по оценке качества среды по показателям нарушения стабильности развития в условиях антропогенного воздействия. В литературе неоднократно указывалось, что уровень ФА для каждого вида в благоприятных условиях варьирует в небольших пределах, на этом основана шкала, разработанная В.М. Захаровым с соавторами (2000).

Для оценки качества среды на территории Алданского района в период с 2010 по 2013 гг. проанализировано 59 выборок листьев березы плосколистной из 25 точек, различающихся по условиям произрастания, транспортной нагрузке, качеству дорожного покрытия и на разном расстоянии от источников загрязнения, а также привлечены литературные данные и фондовые материалы по 23 точкам (рис. 1).

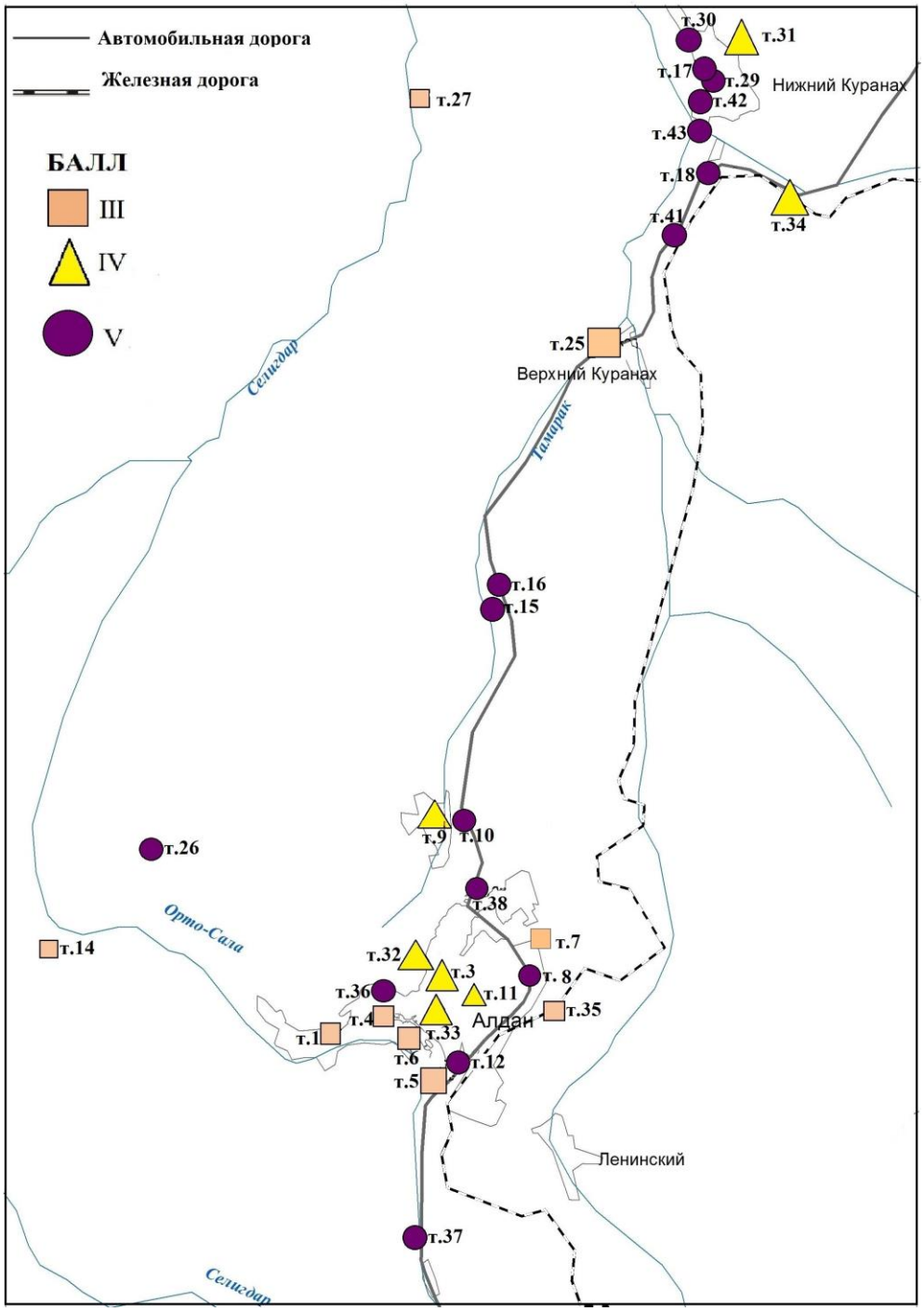

Рис. 1. Оценка качества среды на территории Алданского района по показателю ФА березы плосколистной

Фоновые показатели. Известно, что в природных биотопах на территории Алданского района показатель ФА березы плосколистной может составлять 0,046 (Шадрина и др., 2003), это выше, чем в аналогичных условиях Центральной и Западной Якутии (0,038-0,044; Шадрина и др., 2003). В наших материалах сходные результаты получены в окрестностях с. Верхний Куранах (т.25) в лесном массиве (расстояние от антропогенных источников загрязнения более 1 км) и на окраине г. Алдана (т.1), где антропогенная нагрузка невысока, по-

этому в качестве контроля мы рассматривали листья, собранные с деревьев, произраставших в этих двух точках, где величина интегрального показателя ФА составила 0,047- 0,049, т.е. средний уровень отклонения от нормы.

Мы, как и ранее работавшие в этом районе авторы (Шадрина и др., 2003) считаем, что высокие показатели ФА листьев березы на территории исследуемого района отражают последствия длительного антропогенного воздействия, т.к. этот регион является одним из главных промышленных районов Республики Саха (Якутия), и добыча золота здесь ведется с 20-х годов XX в. При этом можно предположить, что выявленные высокие показатели ФА в природных биотопах по сравнению с другими районами Якутии объясняются местной геохимической спецификой. Известно, что свойства почв региона зависят от генетически унаследованных геохимических характеристик подстилающих пород Алданского щита (Легостаева, Дягилева, 2013).

На территории населенных пунктов Алданского района по результатам 4 лет исследований отмечены относительно высокие уровни ФА березы плосколистной: по точкам они варьировали в пределах 0,045-0,066, а усредненный показатель составил 0,054, что по шкале, разработанной В.М. Захаровым с соавторами (2000) характеризуется как IV балл и говорит о существенных отклонениях от нормы. Усредненные значения ФА для населенных пунктов следующие: г. Алдан - 0,054, с. Якокит - 0,048, г. Томмот - 0,056, с. Улуу - 0,055, п. Нижний Куранах - 0,056.

На территории **г. Алдана** показатель ФА варьировал в пределах 0,047-0,062. На наш взгляд, такие различия зависят от многочисленных объектов негативного воздействия на окружающую среду, которые рассредоточены по всей территории населенного пункта. Сопоставляя наши результаты с территориальным зонированием г. Алдана (согласно генплану), можно отметить, что относительно низкие показатели ФА характерны для южной и юго-западной частей города, которые характеризуются высокой степенью озеленения и примыкают к ненарушенному лесному массиву (рис. 2). Существенные отклонения от нормы отмечены в центре и на востоке города – как в жилой зоне, так и на участках промышленной застройки.

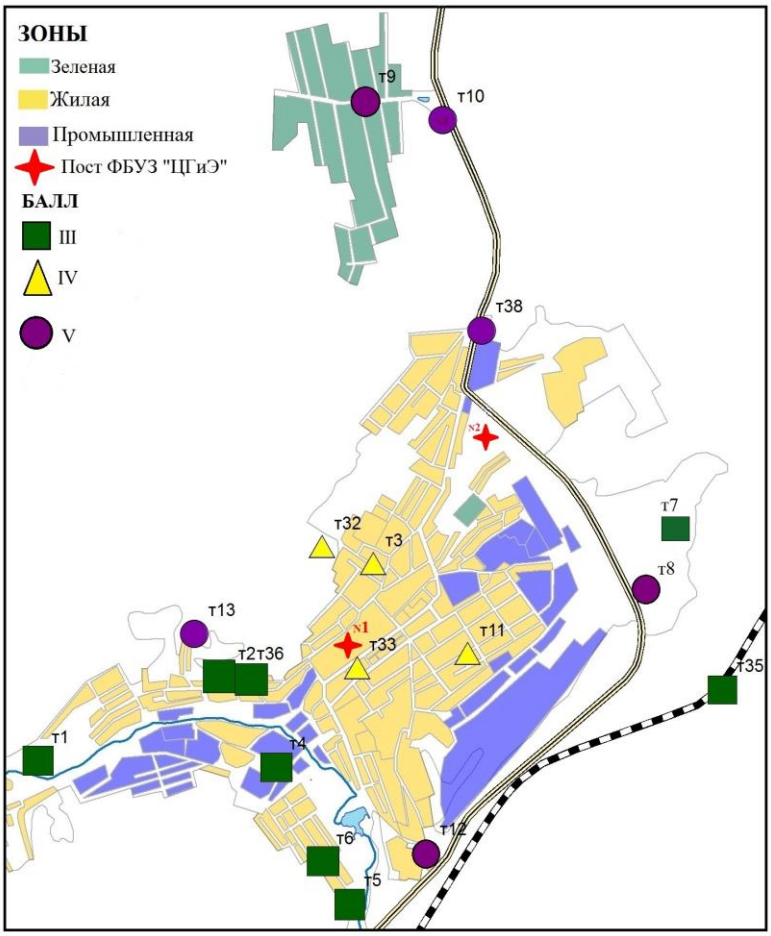

Рис. 2. Схема зонирования территории г. Алдана
(т.1-13 – наши данные, т.32, 33, 35, 36, 38 – фондовые материалы).

4.2. Оценка влияния загрязнителей на показатель ФА березы плосколистной

Нами проанализированы статистические данные об экологической обстановке на территории Алданского района за период 2010-2013 гг. Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются промышленные предприятия и автомобильный транспорт.

4.2.1. Влияние загрязнения атмосферного воздуха на нарушения стабильности березы плосколистной

На территории г. Алдана расположено два пункта ФБУЗ "ЦГиЭ в РС (Я)", причем контроль осуществляется только в теплый период года. Поблизости от поста № 1 расположено три наших точки отбора проб (табл. 3). Сопоставление числа дней превышений ПДК по трем загрязняющим веществам (взвешенные вещества, оксид углерода, оксид азота) и показателями ФА березы плосколистной по показателю Пирсона выявило тесные корреляционные связи для всех трех точек (0,74-0,77). При этом анализ по компонентам загрязнения выявил, что основной вклад в корреляцию вносит число дней с превышением ПДК по

взвешенным веществам (пыли). Для поста № 2 ФБУЗ "ЦГиЭ в РС (Я)" выявлено меньше превышений ПДК, и точки наших исследований располагаются от него относительно далеко, поэтому выявление корреляций по этому посту не проводилось.

Таблица 3

Сравнение показателя ФА березы плосколистной с атмосферным загрязнением на территории г. Алдана

Год	Доля проб с превышениями ПДК*				Показатель ФА**		
	Всего	Взв. в-ва	CO	NO_2	Т. 2	Т. 3	Т. 11
2010	0,03	0,03	0,00	0,00	0,051	0,047	0,052
2011	0,20	0,15	0,05	0,00	0,054	0,051	0,054
2012	0,15	0,05	0,05	0,05	0,052	0,048	0,051
2013	0,00	0,00	0,00	0,00	0,052	0,048	0,048
ПДК, мг/ мі		0,5	0,05	0,2	-		
Коэффициент корреляции Пирсона:							
ФА – доля проб с превышением ПДК суммарная					0,77	0,77	0,74
ФА – доля проб с превышением ПДК по взвешенным веществам					0,88	0,91	0,86

Примечание: * - данные ФБУЗ "ЦГиЭ в РС (Я)" (май, август, сентябрь).

Вторым фактором загрязнения атмосферы территории Алданского района являются **выбросы автомобильных двигателей**. В целом территория г. Алдана характеризуется невысокой транспортной нагрузкой - по отчетным данным Минприроды РС (Я) в 2013 г. от 800 единиц автотранспорта было выброшено в атмосферу 1,595 тыс. тонн загрязняющих веществ (Якутск-122 тыс. ед., Мирный 1511 ед.).

Оценка транспортной нагрузки проводилась на территории г. Алдана, а также в пределах г. Томмота, с. Якокит и пос. Нижний Куранах вдоль федеральной трассы «Лена» (М56). Рассчитанная нами максимальная интенсивность движения не превышает 3,5 тыс. ед. в сутки, что, согласно литературным данным характеризуется как низкая транспортная нагрузка (Оценка и регулирование..., 1996). Кроме того, для оценки влияния автотранспорта использовали бальную шкалу, согласно которой токсичность по выбросам в атмосферный воздух окиси углерода для легкового автомобиля условно принимается за единицу, остальные виды автотранспорта ранжируются. При этом надо учесть, что учет автотранспорта проводился на участках, различающихся не только по интенсивности движения транспорта, но и по состоянию дорожного покрытия, а также силе воздействия иных экологических факторов: возраст деревьев, состояние почвенного покрова, увлажненность, тип растительных ассоциаций. Кроме того, на территории населенных пунктов, как мы указывали выше, имеют

значение близость котельных, работающих на угле и наличие других загрязнителей (Шадрина, Луцкан, 2016).

Поскольку нагрузка по точкам варьировала в пределах 30,8-247,2 балла, мы разбили рассматриваемые точки на четыре зоны: 1 зона от 0 до 99, последующие – с градациями по 50 баллов. При попарном сравнении показателя ФА четвертой зоны с двумя первыми различия были статистически значимыми (по критерию Стьюдента $p < 0,001$), в остальных случаях – не достигали уровня статистической значимости. Можно предположить, что существенное влияние на данный показатель оказывают автодороги с транспортной нагрузкой свыше 200 баллов (рис. 3).

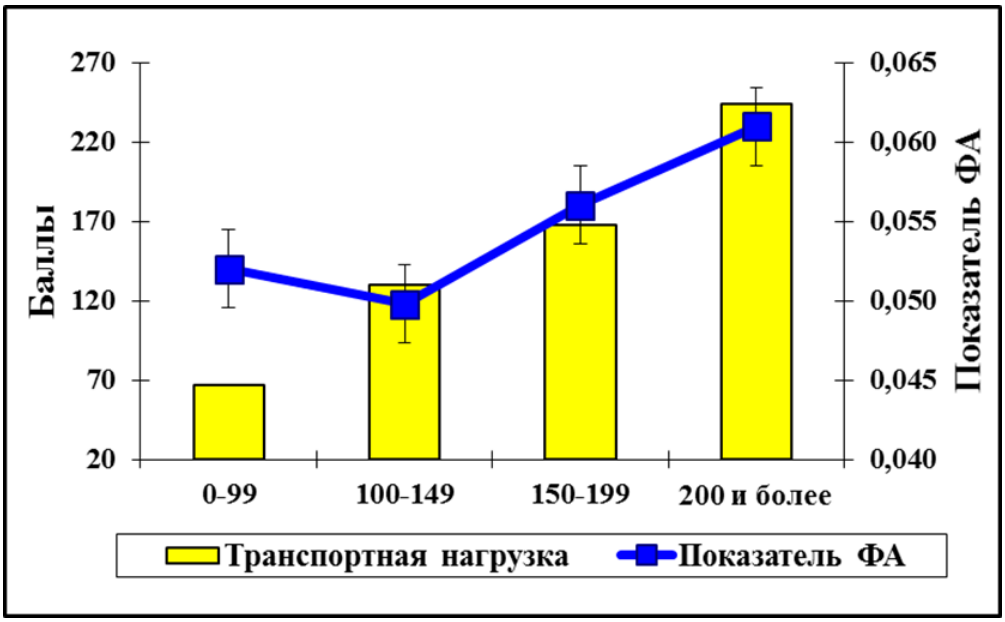

Рис. 3. Сравнительная оценка транспортной нагрузки и показателя ФА

При оценке влияния автотранспорта по территориальному принципу обнаружено, что для территории г. Алдан не выявлено корреляции показателя ФА с транспортной нагрузкой – ни в абсолютных значениях, ни в баллах. Мы считаем, что это объясняется двумя группами факторов: с одной стороны, многофакторное негативное воздействие на территории города затрудняет вычленение доминирующих факторов, влияющих на стабильность развития в конкретной точке, с другой стороны, можно предположить, что низкая транспортная нагрузка (480-2900 автомашин в сутки) не оказывает существенного влияния на показатели нарушения стабильности развития организма, отражением которых и является флуктуирующая асимметрия.

При этом сопоставление показателя ФА березы плосколистной с интенсивностью транспортной нагрузки на федеральной трассе М56 обнаружило высокий уровень корреляционной зависимости: коэффициент корреляции Спирмена для абсолютных значений нагрузки составил 0,96, для балльной шкалы те

же показатели составили 0,97 (статистическая значимость в обоих случаях <0,05).

4.2.2. Влияние загрязнения почвенного покрова на показатель ФА березы плосколистной

Проанализировано содержание в почве 10 микроэлементов – Pb, Ni, Mn, Cd, Co, Cr, Zn, Cu, As, Hg. Содержание Hg во всех пробах оказалось ниже предела обнаружения анализа, для остальных оно варьировало весьма значительно, различаясь между пунктами отбора проб на 2-3 порядка. Для большинства обследованных точек отмечено более высокое содержание нефтепродуктов и микроэлементов в верхнем слое (0-10 см), это свидетельствует о наличии поверхностного загрязнения, которое в большинстве случаев уменьшается в нижних слоях. Во многих точках отмечено превышение предельно допустимых концентраций элементов 1, 2, 3 класса опасности (табл. 4). Наиболее высоким содержанием из рассматриваемых элементов характеризуются Cu, Mn, Zn, Pb, в меньшей степени – Ni, Co, Cr. Все эти металлы характерны для геохимического фона Центрального Алдана (Ворошилов и др., 2004), при этом марганец повсеместно характеризуется накоплением в гумусовых слоях почв (Еловская и др., 1986), накопление меди и цинка зависит от многих факторов, в том числе агрохимических и агрофизических свойств почвы, а наличие свинца объясняется как природным геохимическим фоном, так и антропогенным загрязнением (Легостаева, Дягилева, 2013).

Таблица 4

Показатели превышения ПДК тяжелых металлов в почвах Алданского района

Кратность превышения ПДК	Кратность превышения содержания ПДК микроэлементов по точкам								
	Pb	Ni	Mn	Cd	Co	Cr	Zn	Cu	As
0-10 см	т. 5, 10	т. 11	т. 13	т. 13	т. 11	т. 10	т. 10	т. 10	т. 18
	9,1	5,4	2,7	-	2,1	5,4	5,3	130,6	< 1
10-20 см	т. 10	т. 19	т. 10	т. 10	т. 13	т. 10	т. 10	т. 10	т. 19
	5,5	1,8	2,4	-	1,4	3,3	7,4	100,0	< 1
ПДК, мг/кг	**32**	**4**	**1500**	**-**	**5**	**6**	**23**	**3**	**2**

По суммарному показателю микроэлементного загрязнения почвенного покрова также отмечено широкое варьирование – от 54 мг/кг почвы до 4100-4200 мг/кг. При этом четких корреляций между суммарным загрязнением почвенного покрова и показателем ФА не выявлено. Поэтому для анализа влияния состава почвы на стабильность развития древесных растений отдельно рас-

смотрели две выборки, включающие точки со сходным антропогенным воздействием – территорию г. Алдана и территорию, примыкающую к федеральной автотрассе М56 (табл. 5).

Таблица 5

Сравнение показателя ФА березы плосколистной с содержанием микроэлементов в почвогрунтах в пределах г. Алдана (глубина 0-10 см)

№	ФА	Содержание микроэлементов, мг/кг									
		Pb	Ni	Mn	Cd	Co	Cr	Zn	Cu	As	Сумма
ПДКмг/кг		**32,0**	**4,0**	**1500**	**-**	**5,0**	**6,0**	**23,0**	**3,0**	**2,0**	**-**
Локальный фон											
т.1	0,049	**57**	2,07	546	0,16	2,81	1,43	**33,9**	**9,43**	0,22	653
г. Алдан											
т.2	0,052	18,6	2,03	1146	0,13	3,16	3,92	14,5	**5,47**	0,33	1194
т.4	0,052	3,52	0,52	42,27	0,01	0,33	0,76	3,96	**3,27**	0,29	54
т.5	0,054	**291**	3,24	646	0,20	4,21	3,17	**49,6**	**26,4**	0,43	1025
т.6	0,051	**57**	0,6	23,4	0,01	0,84	1,74	4,54	**3,57**	0,05	91
т.8	0,053	24,8	1,64	489	0,23	2,28	1,78	9,5	**7,02**	0,05	536
т.9	0,055	**54,5**	3,13	**2066**	1,37	4,63	2,27	4,56	**7,07**	0,44	2144
т.10	0,061	**231**	2,94	**2707**	0,67	2,82	**32,5**	**121**	**391**	0,4	3491
т.12	0,059	22,7	1,13	273	0,06	1,23	0,93	4,16	**5,34**	0,05	308
т.13	0,062	**75,8**	2,18	**4059**	2,83	**7,51**	2,07	4,3	**5,75**	0,16	4159
r		0,46	0,54	**0,75**	**0,74**	0,59	0,31	0,10	0,56	0,21	**0,73**
p		0,21	0,14	**0,02**	**0,02**	0,09	0,42	0,80	0,12	0,58	**0,03**
Трасса М56											
т.8	**0,053**	24,8	1,64	489	0,23	2,28	1,78	9,50	7,02	0,05	536
т.10	**0,061**	**231**	2,94	**2707**	0,67	2,82	**32,5**	**121**	**391**	0,40	3491
т.16	**0,061**	**63,5**	1,87	1108	0,23	2,27	1,59	**40,7**	9,47	0,53	1228
т.18	**0,056**	30,8	**5,46**	1148	0,10	4,85	**8,50**	5,83	11,7	0,69	1216
т.22	**0,046**	4,19	2,26	261	0,09	1,36	1,36	7,64	4,52	0,05	283
т.24	**0,058**	5,09	2,32	322	0,02	1,95	1,48	2,89	5,75	0,05	342
r		**0,76**	0,15	0,66	0,51	0,16	0,40	0,47	0,55	0,42	**0,76**
p		**<0,05**	0,76	0,11	0,24	0,73	0,37	0,28	0,21	0,35	**<0,05**

Примечание: r – коэффициент корреляции Спирмена, p – уровень значимости, жирный шрифт - превышение ПДК, красным цветом выделены статистически значимые величины.

Анализ корреляции показателя ФА березы плосколистной с загрязнением почвенного покрова на территории г. Алдана выявил статистически значимые корреляционные связи с суммарным содержанием исследуемых микроэлементов в почвенном покрове, причем основной вклад в корреляцию вносит содержание Mn и Cd, для которых отмечены значимые тесные корреляционные связи, средний уровень – для Ni, Co, Cu, несколько ниже (умеренный) – для Pb и Cr. Относительно слабый уровень корреляции отмечен между ФА березы плосколистной и содержанием почве As.

Анализ корреляции показателя ФА березы плосколистной с загрязнением почвенного покрова на территории, примыкающей к трассе «Лена» также выявил статистически значимые корреляции с суммарным содержанием микроэлементов в почвенном покрове, но наиболее тесные связи обнаружены с содержанием Pb, средний уровень – для Mn, Cd и Cu, несколько ниже (умеренный) – для и As, Zn, Cr.

Сравнение показателя ФА березы плосколистной с содержанием микроэлементов в листьях березы

Загрязнение атмосферного воздуха и почвы промышленными выбросами, в частности металлами, приводит к накоплению их в растениях. Повышенное содержание металлов в растениях приводит к нарушению деятельности физиологических и биохимических регуляторных систем, вызывает анатомические и морфологические изменения (Кондратюк и др., 1980).

Для оценки влияния содержания микроэлементов в листьях березы на показатель стабильности развития березы плосколистной нами проведен анализ зависимости их накопления от содержания в почве. Предварительный анализ показал, что несколько теснее обнаруживаются корреляционные связи между содержанием микроэлементов в листьях березы с их содержанием первом почвенном слое (0-10 см). Поскольку последний показатель варьировал весьма значительно, пункты отбора проб разбили на 4 категории (табл. 6). Проведенный нами сравнительный анализ показал, что чем выше содержание микроэлементов в почве, тем теснее корреляционные связи с их накоплением в листьях. Сильные корреляционные связи отмечены для проб 4-й группы (точки 9, 10, 13 – свыше 2000,1 мг/кг) по Pb, Ni, Mn, Cd, Co, Zn, причем Co характеризуются отрицательной корреляцией, т.е. относительно слабым накоплением в листьях березы. Возможно, это объясняется тем, что избыток марганца в почвах снижает усвояемость растениями кобальта (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

Анализ уровня содержания микроэлементов в листьях показал весьма слабое влияние на стабильность развития березы плосколистной. Нами рассмотрено влияние содержания микроэлементов в листьях на показатель ФА по двум категориям: до 100 тыс. мг/кг и более 100 тыс. мг/кг (табл. 7). Для первой категории корреляций не было выявлено. Для второй категории выявлены положительные корреляции между показателем ФА и содержанием в листьях березы Mn и Co, т.е. их накопление приводит к нарушениям стабильности развития и, как следствие, повышению уровня ФА.

Таблица 6

Корреляция содержания микроэлементов в листьях березы плосколистной с их содержанием в верхнем слое почвы (0-10 см)

Суммарное содержание микроэлементов в почве	Коэффициент корреляции Пирсона									
	Pb	Ni	Mn	Cd	Co	Cr	Zn	Cu	As	Mo
до 500 мг/кг(n=6)	-0,34	-0,56	-0,01	**0,76**	-0,53	**-0,74**	0,38	-0,44	0,01	0,02
500,1-1000 мг/кг (n=8)	-0,42	0,01	-0,41	0,21	-0,59	-0,32	0,36	0,61	0,30	**0,96**
1000,1-2000 мг/кг (n=5)	0,52	-0,19	0,19	-0,69	-0,52	-0,38	0,58	-0,08	0,34	0,49
свыше 2000,1 мг/кг (n=3)	**0,76**	**0,93**	**0,82**	**0,89**	**-0,98**	0,55	**0,96**	0,51	0,45	0,22

Таблица 7

Корреляция содержания микроэлементов в листьях березы плосколистной с показателем ФА

Суммарное содержание микроэлементов в листьях		Коэффициент корреляции Спирмена									
		Pb	Ni	Mn	Cd	Co	Cr	Zn	Cu	B	Mo
до 100000 мг/кг (n=14)	**r**	-0,20	-0,23	0,10	-0,05	0,26	0,18	0,15	-0,08	-0,29	-0,33
	p	*0,49*	*0,43*	*0,74*	*0,86*	*0,37*	*0,54*	*0,61*	*0,78*	*0,32*	*0,25*
свыше 100000 мг/кг (n=8)	**r**	0,32	0,41	**0,81**	0,44	**0,78**	0,39	-0,61	**-0,76**	-0,56	-0,39
	p	*0,44*	*0,31*	***0,02***	*0,28*	***0,02***	*0,34*	*0,11*	***0,03***	*0,15*	*0,34*

Примечание: Spearmen – коэффициент корреляции Спирмена; p-level – уровень статистической значимости; цветом выделены статистически значимые показатели.

Достоверно значимые отрицательные корреляции отмечены с накоплением Cu, что свидетельствует о ее благоприятном действии на стабильность развития растений. Почти вся медь листьев сосредоточена в хлоропластах и тесно связана с процессами фотосинтеза. Установлено положительное влияние меди на синтез белков в растениях и благодаря этому — на водоудерживающую способность растительных тканей. Известно участие меди в качестве компонента ряда ферментов, связанных с окислительно-восстановительными процессами (Орлов, Безуглова, 2000).

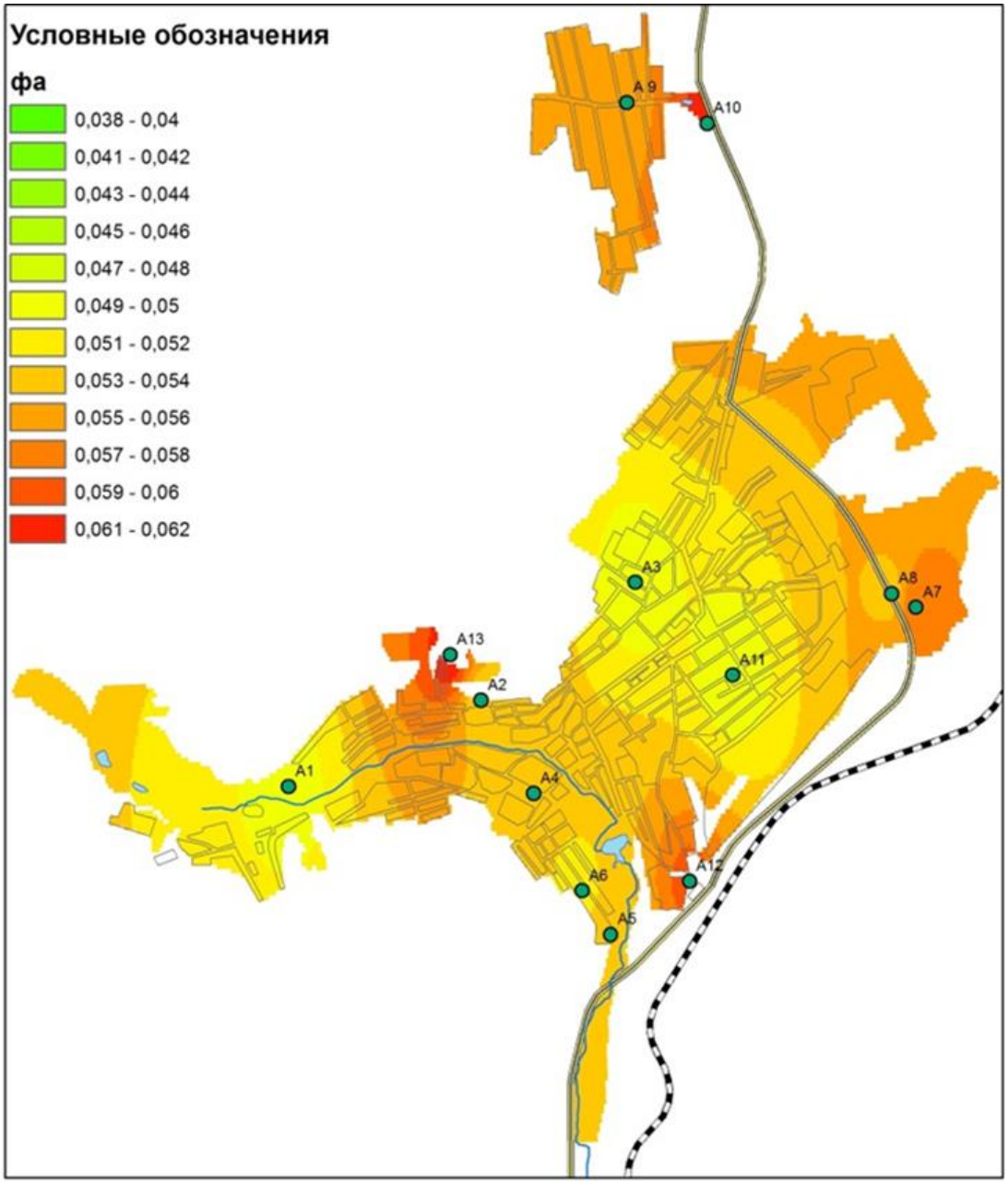

Рис. 4 Картосхема качества среды г. Алдана
по показателю ФА березы плосколистной

Выводы

1. В результате биоиндикационных исследований выявлено, что для территории Алданского района, включая природные и слабо трансформированные биотопы, в целом характерны повышенные уровни ФА березы плосколистной: в течение четырех лет исследований они варьировали в фоновых биотопах в пределах 0,045-0,047. По шкале качества среды, разработанной ранее В.М. Захаровым с соавторами (2000) это соответствует III баллу (средний уровень отклонения от нормы). Относительно высокий уровень ФА в данном регионе мо-

жет объясняться длительным антропогенным воздействием и геохимической спецификой территории.

2. На антропогенно трансформированных территориях Алданского района показатель нарушения стабильности развития варьировал от 0,045 до 0,066. Усредненный показатель ФА для исследуемой территории составил 0,054, а по населенным пунктам отмечены следующие значения: г. Алдан - 0,054, с. Якокит - 0,048, г. Томмот - 0,056, с. Улуу - 0,055, п. Нижний Куранах - 0,056. Это соответствует III-IV баллам качества среды и свидетельствует о средних и существенных отклонениях от нормы. Таким образом, на территории населенных пунктов Алданского района отмечено ухудшение качества среды по сравнению с природными биотопами.

3. На территории г. Алдана выявлено варьирование показателя ФА в пределах 0,047-0,062. Выявленные различия зависят от многочисленных источников негативного воздействия, которые рассредоточены по всей территории населенного пункта. Относительно низкие показатели ФА характерны для южной и юго-западной частей города. Существенные отклонения от нормы отмечены в северной и восточной частях города – прежде всего, на участках, примыкающих к автотрассе.

4. Оценка влияния автотранспорта на показатель ФА березы плосколистной показала, что в условиях селитебных территорий с низкой транспортной нагрузкой основное влияние на стабильность развития и, как следствие, на ухудшение качества среды оказывает запыление местности. Наиболее значительное повышение показателя ФА березы плосколистной отмечено вдоль федеральной автотрассы «Лена», в непосредственной близости от проезжей части дорог и улиц с гравийным покрытием.

5. Суммарное содержание микроэлементов в почвах и почвогрунтах Алданского района варьировало весьма значительно, различаясь между пунктами отбора проб на 2-3 порядка (от 54 до 4200 мг/кг). Наиболее высоким содержанием в почве характеризуются Mn, Cu, Zn и Pb, т.е. элементы, характерные для материнских пород. Более высокое содержание микроэлементов в верхнем слое почвы (0-10 см) свидетельствует о наличии поверхностного загрязнения. Отмечены тесные корреляционные связи показателя ФА березы плосколистной с суммарным загрязнением верхнего слоя почвы на территории г. Алдана, и участков, примыкающих к федеральной автотрассе «Лена», при этом для территории города основной вклад в эту зависимость вносят содержания Mn и Cd, а для трассы – Pb.

6. Накопление микроэлементов в листьях березы прослеживается только при высоких концентрациях в верхнем слое почве. Повышение показателя ФА березы плосколистной наблюдается в случаях высоких концентраций микроэлементов в листьях, при этом значимые положительные корреляции отмечены для накопления Mn и Cd, отрицательные - для Cu.

7. Комплекс проведенных исследований позволил доказать эффективность применяемого нами биоиндикационного метода, который дает интегральную оценку качества среды, прост в использовании, не требует значительных финансовых затрат. Это позволяет проводить регулярные биоиндикационные исследования, что особенно актуально для населенных пунктов, где не проводится государственный мониторинг атмосферного воздуха.

Рекомендации

Для повышения эффективности государственного экологического мониторинга и разработки целенаправленных мероприятий по улучшению качества окружающей среды на территории населенных пунктов Алданского района необходимо более полное проведение мониторинговых исследований, для этого рекомендуем:

- провести исследования по анализу ФА березы плосколистной во всех населенных пунктах Алданского района, уделяя особое внимание территориям, примыкающим к автодорогам и промышленным предприятиям;
- включить город Алдан в список городов, где должны проводиться регулярные наблюдения за состоянием атмосферного воздуха;
- периодически 1 раз в год вести биоиндикационные исследования; о полученных результатах сообщать в органы муниципальной и государственной власти Республики Саха (Якутия);
- разработать план долгосрочных мероприятий по сохранению и улучшению качества среды на участках переходной и условно чистой зон;
- предложить существующим экологическим организациям Алданского района, в том числе и детским, проводить биоиндикационные исследования в населенных пунктах;
- принять оперативные меры по оздоровлению среды на участках с высокими показателями ФА. Для этого необходимо: ограничить проезд грузового и легкового транспорта в жилой зоне населенных пунктов; улучшить качество дорожного покрытия; обеспечить наличие обязательной зеленой зоны между проезжей частью автодороги, жилыми домами, пешеходной зоной, детскими учреждениями; промышленным предприятиям – установить очистные соору-

жения, пыле- и газоулавливающие установки и вести регулярный производственный экологический контроль.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации:

1. Шадрина Е.Г. Исследования показателя флуктуирующей асимметрии растений как способ оценки экологической обстановки региона и прогнозирования в области охраны здоровья населения / Е.Г. Шадрина, **Е.Н. Луцкан**, И.П. Луцкан // Наука и образование. – 2013. - №3. – С. 81-86.
2. Шадрина Е.Г., Оценка состояния окружающей среды города Алдана на основе анализа флуктуирующей асимметрии березы плосколистной / Е.Г. Шадрина, **Е.Н. Луцкан**, И.П. Луцкан, В.С. Макаров // Вестник СВФУ им. М.К. Аммосова. – 2014. – Т. 11, № 2. — С. 36-45.
3. Шадрина Е.Г., Влияние транспортной нагрузки и атмосферного загрязнения на показатель флуктуирующей асимметрии березы плосколистной на территории Алданского района Республики Саха (Якутия) / Е.Г. Шадрина, **Е.Н. Луцкан** // Наука и образование. – 2016. - №1. – С. 121-126
4. Шадрина Е.Г. Биоиндикационная оценка состояния окружающей среды города Алдана на основе анализа флуктуирующей асимметрии березы плосколистной / Е.Г.Шадрина, **Е.Н. Луцкан** // Междунар. ж-л прикладных и фундаментальных исследований № 8-2. – 2013. – С. 139-142
5. **Луцкан Е.Н.**, Биоиндикационная оценка состояния среды на территории г. Алдан по показателю флуктуирующей асимметрии березы плосколистной *Betula platyphylla* Sukacz. Е.Н. Луцкан, Е.Г. Шадрина / Современные проблемы мерзлотного почвоведения прикладной экологии севера / Матер. Всероссийской научно-практ.конф. (с междунар. участием) 29-30 марта 2012. – Якутск, 2013. – С. 316-321.
6. Шадрина Е.Г., Экологический мониторинг состояния атмосферного воздуха и водных объектов на территории г. Якутска. Е.Г. Шадрина, Л.С. Волкова, **Е.Н. Луцкан** // Экологические проблемы природных и урбанизированных территорий / Матер. III Междунар. Научно-практ.конф 20-21 мая 2010 г, Астрахань. – Астрахань, 2010. – С. 215-218.
7. Шадрина Е.Г., Биоиндикационные показатели мониторинга состояния среды (на примере ГО «Якутск)» / Е.Г. Шадрина, **Е.Н. Луцкан**, В.Ю. Солдатова, И.П. Луцкан / Актуальные проблемы медико-биологических дисциплин / Матер. II Всероссийской научно-практ.конф. – Саранск, 2013. – С. 19-21.