



ЭКОЛОГИЯ

УДК 502.6:582.632.1 (571.56-25)

БИОИНДИКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СРЕДЫ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ОКРУГОВ Г. ЯКУТСКА ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ И КАЧЕСТВА СЕМЯН БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ *BETULA PENDULA* ROTH.

В. Ю. Солдатова, Е. Г. Шадрина, Д. Н. Новгородова

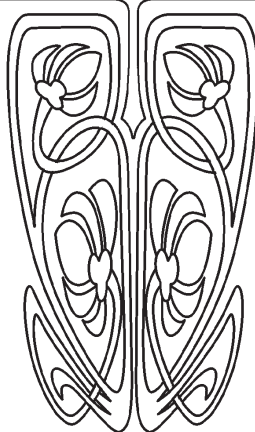
Солдатова Виктория Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент биологического отделения Института естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, solvik75@mail.ru

Шадрина Елена Георгиевна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения РАН, e-shadrina@yandex.ru.

Новгородова Дария Николаевна, студент биологического отделения Института естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, dashanovg_9696@mail.ru



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ



Качество среды на территории г. Якутска оценивали по показателю флуктуирующей асимметрии (ФА) листа, всхожести и энергии прорастания семян березы повислой *Betula pendula* Roth. В 25 точках, расположенных в непосредственной близости от проезжей части улиц, собрано 2 300 листьев и в 21 точке отобраны пробы семян. Показатель ФА варьировал в пределах 0,042–0,057, что соответствует качеству среды от условно нормального до критического. Наиболее благополучно состояние берез в контрольной точке – на территории ботанического сада. Анализ по административным округам показал, что наиболее неблагоприятные показатели ФА характерны для берез, произрастающих на территории центральной части города, – это Центральный, Октябрьский и Губинский округа, где наблюдается наибольшая транспортная нагрузка. Также неблагоприятно состояние среды в Промышленном округе. Качество семян оценивали по показателям всхожести и энергии прорастания, оба показателя также реагируют на ухудшение качества среды на территории города. Отмечена статистически значимая отрицательная корреляционная зависимость между величиной ФА (отражающей нарушения стабильности развития) и показателями качества семян, что свидетельствует о согласованности реакций организма на загрязнение среды.

Ключевые слова: флуктуирующая асимметрия, стабильность развития, качество среды, урбанизированная территория, биотестирование, энергия прорастания, всхожесть семян.

DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-2-216-224

Введение

Город – природно-техногенная система, динамическая совокупность, составленная проживающим населением, его хозяйственной деятельностью и освоенной территорией. Городская среда отличается своеобразным изменением основных экологических факторов: ухудшением состояния городских почв, загрязнением воздуха, поверхностных и подземных вод, формированием особых микро- и мезоклиматических условий, что приводит к значительной транс-



формации окружающей среды. Микроклимат города характеризуется своими особенностями, на его формирование, помимо природных условий, оказывают влияние условия, создаваемые городской застройкой, а также функционированием автотранспорта, теплоэлектростанций, промышленных и других предприятий, т.е. города представляют концентрированные центры производства, потребления и удаления отходов и целого ряда глобальных экологических проблем [1–5].

Город Якутск – столица Республики Саха (Якутия) – расположен в Центральной Якутии на левом берегу реки Лена. Это самый крупный город, расположенный в зоне вечной мерзлоты (площадь – 122 км²). Он относится к категории крупных городов [6], его население – более 300 000, что составляет почти треть населения республики. Наиболее острыми экологическими проблемами города являются загрязнение атмосферного воздуха, поверхностных вод, почв, размещение и переработка твердых отходов и градосферно-геокриологическая обстановка. Загрязнение атмосферного воздуха г. Якутска повышенное (ИЗА > 6,32), в некоторые годы отмечалось как высокое (ИЗА от 7 до 13), что связано с повышенными концентрациями формальдегида, бенз(а)пирена и взвешенных веществ, среднегодовые концентрации этих примесей превышали ПДК в 1,1–3,2 раза. Значительный вклад в величину индекса суммарного загрязнения атмосферы (ИЗА₅=10) также вносили диоксид азота и аммиак [7]. Урбанизация территории и развитие транспортной сети в условиях севера представляют серьезную экологическую проблему. Кроме того, необходимо учитывать сложность оценки качества среды на территории города ввиду одновременного многокомпонентного загрязнения. В связи с этим мы считаем наиболее приемлемыми методы биоиндикации, которые дают представление о суммарном негативном воздействии на организм.

Одним из перспективных подходов для интегральной характеристики качества среды является оценка состояния живых организмов по показателям нарушения стабильности развития, которая характеризуется уровнем флуктуирующей асимметрии (ФА) морфологических структур [8]. Достаточно большое число работ посвящено изучению ФА у различных животных: повышение ФА может наблюдаться на фазе пика численности у животных [9]; стрессующего воздействия различного характера [10–15]. Известно, что уровень флуктуирующей

асимметрии у рыб, лягушек, а также водных и околоводных млекопитающих возрастает при повышении загрязнения водоема [15–17].

Для растений повышение уровня флуктуирующей асимметрии листа отмечено при воздействии различных биотических факторов [18–20]. В последние годы появилось много исследований, посвященных использованию феномена ФА при оценке антропогенного воздействия в городской, рекреационной среде и в окрестностях промышленных объектов [21–25].

Целью наших исследований является оценка качества среды г. Якутска по показателям нарушения стабильности развития высших растений на примере березы повислой (*Betula pendula* Roth.).

Материалы и методы

Для оценки качества среды г. Якутска материал собирался в летний период 2016 г. Обследовано 25 точек в разных районах города. Для оценки показателя флуктуирующей асимметрии использовали лист как орган, обладающий билатеральной симметрией. Согласно методике в каждой точке должно быть собрано по 100 листьев (по 10 листьев с 10 деревьев генеративного возраста), но в ряде случаев при нехватке деревьев в пункте исследования собрано меньшее число листьев. Листья собирали после полной остановки роста листьев (начиная с середины июля), с укороченных побегов равномерно по всему периметру в нижней части кроны у деревьев генеративного возраста, растущих в условиях примерно одинаковой освещенности. При этом предпочитают листья с ровной поверхностью, целыми краями и приблизительно одинаковых размеров. Листья промерялись в программе Bio, после сканирования с помощью программы HP Precision Scan на сканере Scanjet 5200 C, линейные измерения производили с точностью до 0,1 мм, угловые – до 0,1°.

Для оценки величины флуктуирующей асимметрии выбирают признаки, характеризующие общие особенности листа, удобные для учета и дающие возможность однозначной оценки [8]. В качестве интегрального показателя ФА рассматривали среднее значение показателя ФА по пяти признакам (рис. 1), по каждому признаку вычисляли среднее относительное различие, выраженное отношением разницы в промерах на правой и левой сторонах листа к их сумме. Всего промерено 2 300 листьев.

При оценке качества среды использовали балльную шкалу, предложенную В. М. Захаровым с соавторами [8], разработанную для

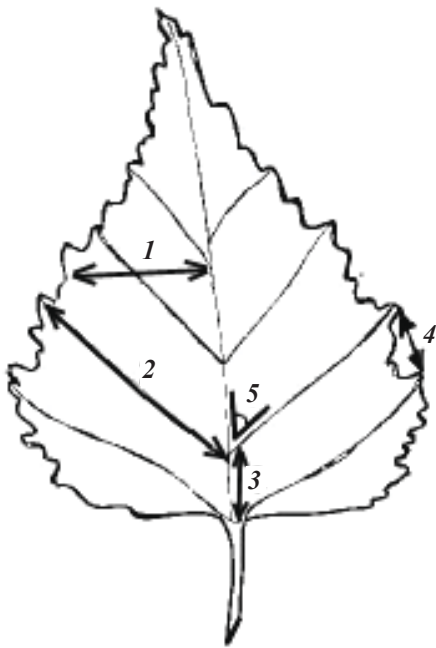


Рис. 1. Схема признаков листа березы, использованная для оценки величины флуктуирующей асимметрии: 1 – ширина полулиста; 2 – длина второй от основания листа жилки второго порядка; 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; 4 – расстояние между концами этих жилок; 5 – угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка

березы повислой. По данной шкале качество среды оценивается по 5 баллам от условно нормального до критического (табл. 1).

Таблица 1

Балльная шкала оценки качества среды по показателям нарушения стабильности развития березы повислой

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

Лабораторную всхожесть семян оценивали в соответствии с ГОСТ 13056.6-97 [26]. Настоящий стандарт распространяется на семена деревьев и кустарников, предназначенные для посева, и устанавливает метод определения их всхожести. Всхожесть определяют путем учета в определенный срок нормально развитых проростков, в том числе предварительного подсчета быстро и

дружно проросших семян (энергия прорастания). Статистическая обработка результатов проводилась в программах Microsoft Excel и Statistica-9, значимость различий оценивалась с применением критерия Стьюдента с поправкой Бонферони для множественных сравнений, корреляционные связи – с применением рангового коэффициента корреляции Спирмена.

Результаты и их обсуждение

В среднем за текущий год исследования величина интегрального показателя нарушения стабильности развития (среднее относительное различие между сторонами на признак) в разных точках варьировала в пределах от 0,042 до 0,057. В качестве контроля использованы данные, полученные из точки, расположенной в рекреационной зоне города, на территории Ботанического сада Института биологических проблем криолитозоны СО РАН (ИБПК). Показатель ФА в контрольной точке составил 0,042, что соответствует минимальным отклонениям от нормы. Значительное варьирование того же показателя на территории города свидетельствует о неоднородности условий среды. Ранее на основании этого мы построили карту качества среды территории г. Якутска, согласно которой наиболее существенное ухудшение здоровья среды отмечено в центре города [24]. Очевидно, что разные районы характеризуются неодинаковой благоприятностью среды для проживания, в связи с этим представляет интерес анализ качества среды в разных административных районах города.

Якутск включает 8 административных округов. **Гагаринский округ** расположен в северо-западной части и характеризуется отсутствием крупных промышленных объектов, удаленностью от центра, большой долей застройки частного сектора, а также наличием дачных построек. В последние годы идет активная застройка данного района, увеличивается транспортный поток и приток населения. В этом округе исследована одна точка, показатель ФА в которой составил 0,047, что означает средний уровень отклонений от нормы, соответствующий III баллу (табл. 2).

Промышленный округ расположен в северо-восточной части города, занимает достаточно большую площадь. Здесь локализованы наиболее крупные предприятия, такие как Якутская ГРЭС, ТЭС, ОАО «Якутский комбинат строительных материалов и конструкций», АО «Якутский хлебокомбинат», ПАО «Якутскэнерго», ООО «Якутский гормолзавод», ООО «Пушная Якутия» и АО «Водоканал». Состояние качества среды изучено



в трех точках. В одной из этих точек отмечен высокий показатель ФА, соответствующий IV баллу загрязнения (категория «сильно загрязненные районы»), а в двух наблюдался средний уровень

отклонений от нормы, что позволяет отнести их к категории «загрязненные районы». Усредненный показатель ФА по промышленному округу составил 0,048 (см. табл. 2).

Таблица 2

Оценка качества среды административных округов г. Якутска

Административный округ	Показатель ФА			Балл	Характеристика
	<i>n</i>	<i>M</i>	<i>m</i>		
Губинский	180	0,050	0,003	IV	Существенные отклонения от нормы
Октябрьский	389	0,050	0,002	IV	
Центральный	485	0,049	0,003	III	Средний уровень отклонений от нормы
Промышленный	300	0,048	0,003	III	
Сайсарский	279	0,047	0,002	III	
Строительный	301	0,047	0,002	III	
Гагаринский	100	0,047	0,002	III	
Автомобильный	160	0,047	0,002	III	Начальные, незначительные отклонения от нормы
Контроль	100	0,042	0,002	II	

Примечание. *n* – объем выборки, *M* – среднее арифметическое, *m* – ошибка.

Строительный округ расположен в западной части города. Занимает довольно большую территорию, состоит из 15 кварталов. Здесь обследовано три точки, показатель нарушения стабильности развития во всех трех точках показал средний уровень отклонений от нормы, что соответствует III баллу качества среды, а усредненный показатель ФА составил 0,047 (см. табл. 2).

Губинский округ расположен в восточной части города, с северной стороны граничит с Промышленным, а с южной – Центральным округами. По занимаемой площади является самым маленьким округом города, включает всего шесть кварталов. Качество среды оценено здесь по состоянию двух точек. По степени загрязнения занимает одно из лидирующих мест – усредненный показатель ФА составил 0,050, что относит его к категории «сильно загрязненный район» (см. табл. 2). В данном округе наблюдался максимальный показатель ФА в этом году (на перекрестке улиц Губина и Богатырева) – 0,057, это критическое значение, крайне неблагоприятные условия, когда растения находятся в сильно угнетенном состоянии.

Центральный округ занимает центральную часть города и третье место по степени загрязнения, средний показатель ФА здесь составил 0,049 (см. табл. 2). Ранее мы указывали, что основным источником загрязнения

здесь является интенсивный поток транспорта. Обследовано 5 точек, из них три характеризуются неблагоприятным состоянием (ул. Курашова – 0,055, Петра Алексева – 0,054 и Хабарова – 0,05). Качество среды в этих точках соответствует IV и V баллам.

Октябрьский округ также расположен в центральной части города и, как и Центральный округ, характеризуется высокой транспортной нагрузкой. Из обследованных четырех точек две характеризуются показателем ФА, соответствующим III баллу качества среды и две – IV баллу, а по усредненным данным этот округ занимает лидирующее положение по уровню отклонения от нормы (см. табл. 2).

Сайсарский округ расположен в юго-западной части города, здесь преобладает частный сектор застройки, отсутствуют крупные промышленные объекты. Высокие показатели ФА наблюдали на участках с некачественным дорожным покрытием и высокой пыленностью, но в целом экологическое состояние округа относительно благополучно. Судя по величине показателя ФА, одну из обследованных точек можно отнести к категории слабо загрязненных, а в двух других показатель ФА соответствует третьему баллу. Усредненный показатель качества среды по округу составил – 0,047, что позволяет отнести его к категории загрязненных районов (см. табл. 2).



Автодорожный округ расположен в юго-восточной части города, является одним из крупных округов. Здесь расположены такие источники загрязнения среды, как ОАО «Домостроительный комбинат», оптовые продовольственные базы и АЗС. В двух исследованных точках качество среды оценивается III баллом; усредненный показатель ФА составил 0,047 (см. табл. 2).

Таким образом, по усредненным данным качество среды на территории всех административных округов г. Якутска неблагоприятно и оценивается III–IV баллами, т.е. загрязненные и сильно загрязненные районы, при этом надо отметить, что различия с контрольным биотопом достигают статистически значимого уровня только начиная с уровня ФА выше 0,048, т.е. для четырех районов города – Губинского, Октябрьского, Центрального и Промышленного округов.

Качество семян оценивали в 21 точке, где произрастают березы среднего генеративного возраста. Энергия прорастания (ЭП) варьировала от 13 до 59 %, всхожесть – от 12 до 60%. На-

меньшие показатели ЭП и всхожести (< 20%) наблюдаются в трех исследованных точках: ул. Петра Алексеева, Курашова и Хатынг-Юряхское шоссе, а наиболее высокие показатели (40–60 %) наблюдаются в 5 исследованных точках: ул. Дзержинского, Автострада 50 лет Октября, Кальвица и в районе Гимейн (рис. 2). В целом можно отметить, что в большинстве исследованных точек наблюдаются низкие показатели энергии прорастания и всхожести семян. Оба показателя статистически значимо коррелируют между собой (ранговый коэффициент корреляции Спирмена $r = 0,99, p < 0,01$). Для обоих показателей выявлена отрицательная корреляционная связь умеренной силы с показателем ФА (коэффициент Спирмена $r = -0,44, p < 0,05$), что свидетельствует о согласованности реакций организма на загрязнение среды. При сопоставлении усредненных данных по округам согласованность реакций выражена еще более ярко – чем выше балльный показатель ФА березы повислой, тем ниже качество семян (рис. 3).

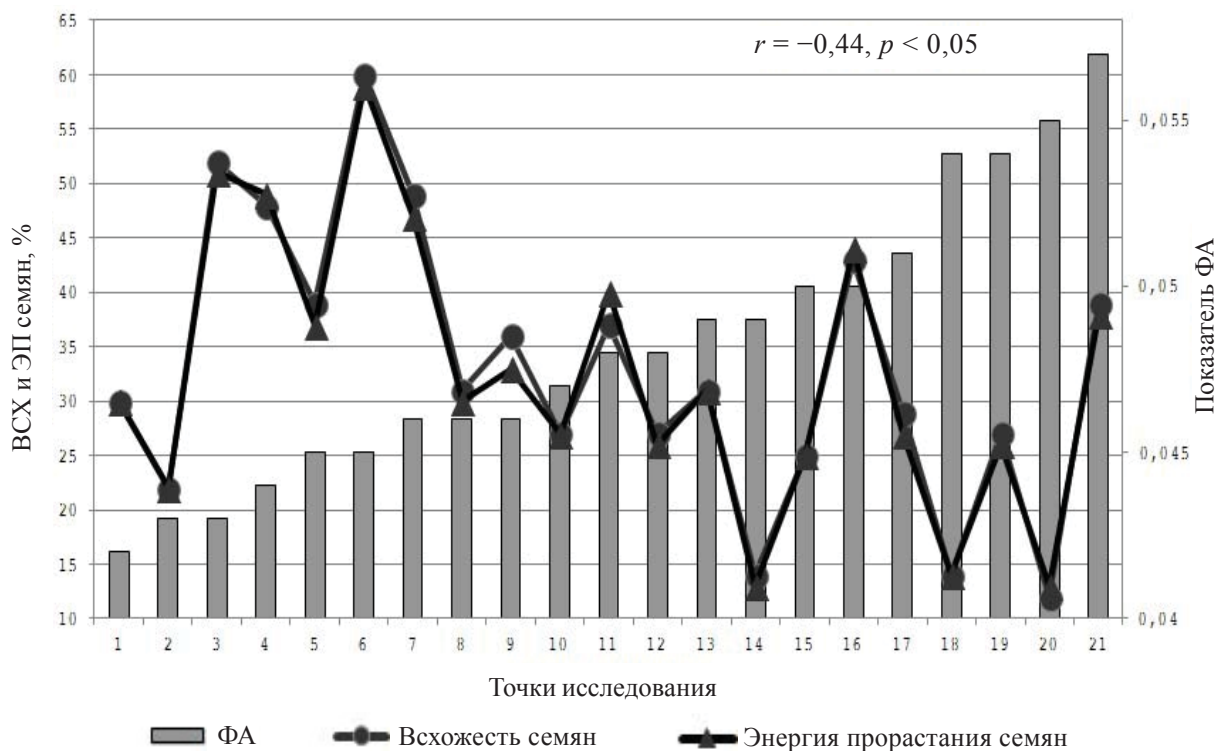


Рис. 2. Корреляционная зависимость между показателем ФА, энергией прорастания и всхожестью семян березы повислой: ВСХ – всхожесть семян, ЭП – энергия прорастания семян, ФА – флуктуирующая асимметрия, r – ранговый коэффициент корреляции Спирмена; 1 – ул. Пояркова, 2 – пр. Ленина, 3 – ул. Дзержинского, 4 – Гимейн, 5 – ул. Горького, 6 – ул. Кальвица, 7 – ул. Дзержинского (ЯКСМК), 8 – Покровский тракт, 4км, 9 – пр. Ленина, 39, 10 – ул. Октябрьская, 11 – Покровский тракт, 7 км, 12 – ул. 50 лет Советской Армии, 13 – мкрн Птицефабрика, 14 – Хатынг-Юряхское шоссе, 15 – ул. Хабарова, 16 – ул. Автострада 50 лет Октября, 17 – ул. Кулаковского, 18 – ул. П. Алексеева, 19 – ул. Ойунского, 20 – ул. Курашова, 21 – ул. Губина

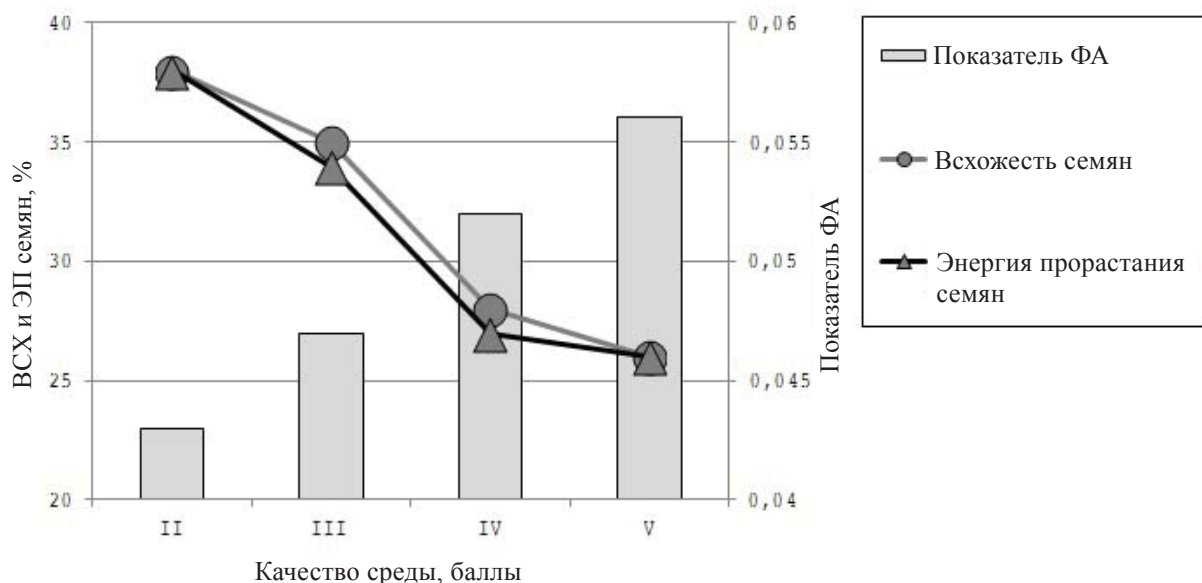


Рис. 3. Сопоставление балльной шкалы ФА, энергии прорастания и всхожести семян березы повислой: ВСХ – всхожесть семян, ЭП – энергия прорастания семян, ФА – флуктуирующая асимметрия

Для выявления влияния загрязнителей на исследуемые показатели березы повислой нами проведено сравнение наших данных с данными ФГБУ «Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» по содержанию основных загрязнителей в атмосферном воздухе на территории города. На территории г. Якутска наблюдения проводятся на трех стационарных постах Государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды (ГСН). Проанализировано содержание девяти загрязняющих веществ в атмосфере: взвешенные вещества, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, сероводород, аммиак, формальдегид, бензапирен.

По трем основным загрязняющим веществам (взвешенные вещества, оксид углерода, диоксид азота) отмечена тенденция взаимосвязи с показателем ФА, всхожестью, энергией прорастания семян, однако небольшой ряд наблюдений не дает возможности говорить о наличии корреляционной зависимости (табл. 3). Однако если привлечь анализ данных за предыдущие годы, можно получить достаточно убедительные данные, отражающие зависимость стабильности развития березы повислой от загрязнения воздуха взвешенными веществами (пылью), по крайней мере, в центра города (рис. 4), причем эта зависимость статистически значима (коэффициент Спирмена $r = 0,71, p < 0,05$).

Таблица 3

Сравнение показателя ФА, всхожести и энергии прорастания березы повислой с атмосферным загрязнением на территории г. Якутска в 2016 г.

Посты ЯУГМС	Содержание загрязнителей в атмосферном воздухе, мг/кг			Показатель ФА	Качество семян	
	Взвешенные вещества	CO	NO ₂		Энергия прорастания, %, 7-е сутки	Всхожесть, %, 15-е сутки
№ 1	0,155	1,3	0,016	0,044	49	48
№ 3	0,172	1,4	0,019	0,045	59	60
№ 15	0,207	1,5	0,026	0,048	24	24

Примечание. Посты ЯУГМС: № 1 – район Гимеин, № 15 – пл. Ленина, № 3 – ул. Кальвица.

Кроме того, при сборе материала нами визуально оценивались качество дорожного покрытия и запыленность местности по 3-балльной

шкале (запыление сильное, среднее, слабое). Отмечены положительные корреляционные связи умеренной силы для показателя ФА и запылен-

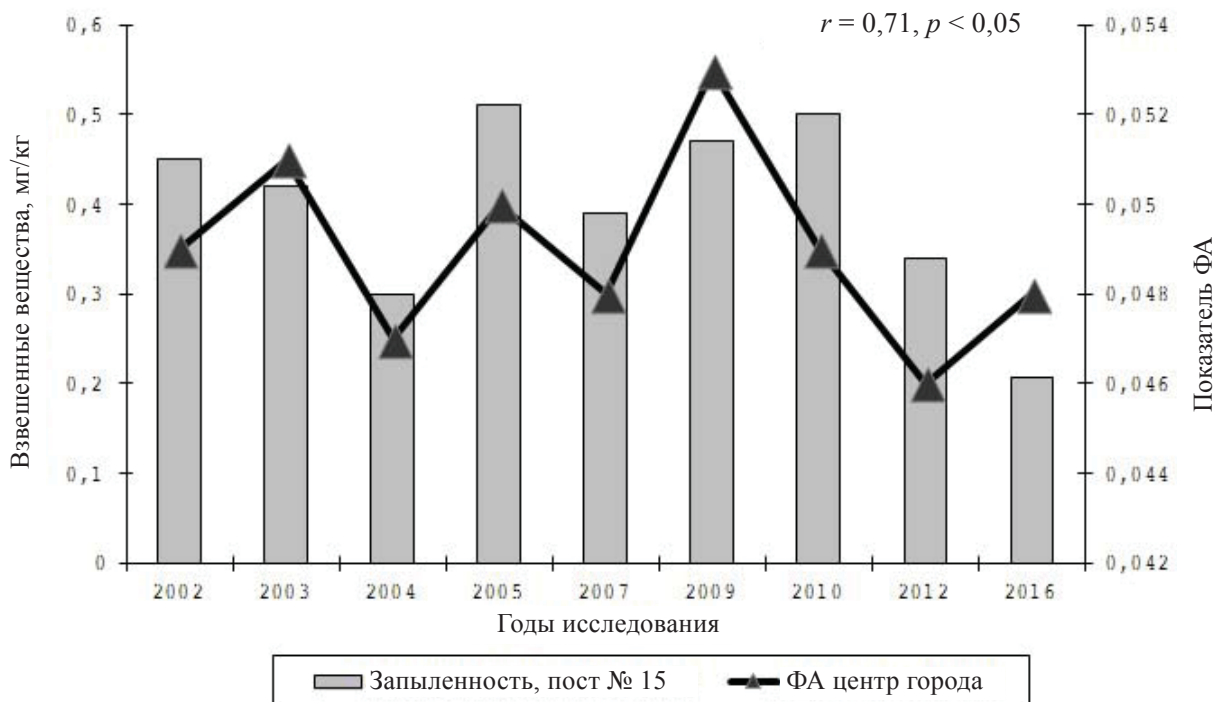


Рис. 4. Изменения запыленности и показателя ФА березы повислой в центре г. Якутска: пост ЯУГМС № 15 – пл. Ленина, ФА – флуктуирующая асимметрия, r – ранговый коэффициент корреляции Спирмена

ности (ранговый коэффициент корреляции Спирмена 0,51, $p < 0,05$), тогда как для всхожести и энергии прорастания семян отмечены слабые отрицательные корреляционные связи с запыленностью, не достигающие статистически значимого уровня.

Заклучение

Таким образом, нами отмечено существенное изменение состояния древесных растений на территории г. Якутска по сравнению с рекреационной зоной. На территории города в большинстве точек отмечен повышенный уровень ФА листа и низкий уровень качества семян березы повислой. Наиболее резкими нарушениями стабильности развития характеризуются березы, произрастающие в центральной части города (Центральный, Октябрьский и Губинский округа), где отмечена наиболее высокая транспортная нагрузка. Судя по величине показателя ФА, состояние древесных растений в этих округах можно оценить как критическое, а состояние среды – как неудовлетворительное, относящее их к категории сильно загрязненных районов. Такие же высокие показатели ФА наблюдаются в Промышленном округе, где сосредоточено много промышленных предприятий и разрешено движение большегрузного транспорта. Несколько лучше состояние среды в Строительном, Сай-

сарском, Автодорожном и Гагаринском округах. На окраинах и в рекреационной зоне города его можно оценить как благополучное. Наименьший уровень асимметрии был выявлен в точках, находящихся на удалении от проезжей части дорог и центра города. Отмечена зависимость показателя ФА от запыленности местности, т.е. важную роль в ухудшении качества среды играет качество дорожного покрытия и благоустройство города.

Два показателя качества семян – всхожесть и энергия прорастания – также реагируют на ухудшение качества среды на территории города и характеризуются отрицательной корреляцией с показателем ФА, что свидетельствует о согласованности реакций организма на загрязнение среды.

Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания Института биологических проблем криолитозоны СО РАН (№ АААА-А17-117020110058-4).

Список литературы

1. Басыйров А. М. Экология города : учеб.-метод. руководство. Казань : КФУ, 2013. 96 с.
2. Бухарина И. Л., Журавлева А. Н., Большова О. Г. Городские насаждения : экологический аспект. Ижевск : Изд-во «Удмуртский университет», 2012. 206 с.



3. Экология города : учеб. пособие / под ред. В. В. Денисова. М. : ИКЦ «Март»; Ростов н/Д : ИЦ «Март», 2008. 832 с.
4. McDonnell M. J., MacGregor-Fors I. The ecological future of cities // Science. 2016. Vol. 352. P. 936–938.
5. Grimm N. B., Faeth S. H., Golubiewski N. E., Redman Ch. L., Wu J., Bai X., Briggs J. M. Global Change and the Ecology of Cities // Science. 2008. Vol. 319. P. 756–760.
6. Города России. URL: <http://города-россия.рф/> (дата обращения: 10.04.2016).
7. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2015 г. Якутск, 2016. 534 с.
8. Захаров В. М., Баранов А. С., Борисов В. И., Валецкий А. В., Кряжева Н. Г., Чистякова Е. К., Чубинишвили А. Т. Здоровье среды : методика оценки. М. : Центр экологической политики России, 2000. 66 с.
9. Захаров В. М., Шефтель Б. М., Александров Д. Ю. Нарушение стабильности развития на фазе пика численности в популяциях млекопитающих // Докл. АН СССР. 1984. Т. 245, № 13. С. 761–764.
10. Cánovas M., Mentaberre G., Tvarijonaviciute A., Casas-Díaz E., Navarro-González N., Lavín S., Soriguier R., González-Candela M., Serrano E. Fluctuating asymmetry as a proxy for oxidative stress in wild boar // Mammalian Biology – Zeitschrift für Säugetierkunde. 2015. № 80. P. 285–289.
11. Eterovick P. C., Sloss B. L., Scalzo José A. M., Alford R. A. Isolated frogs in a crowded world: Effects of human-caused habitat loss on frog heterozygosity and fluctuating asymmetry // Biological Conservation. 2016. № 195. P. 52–59.
12. Leary R. F., Allendorf F. W. Fluctuating asymmetry as an indicator stress. Chance use in protect nature // Acta Zool. Fenica. 1989. Vol. 4. P. 214–217.
13. Palmer R. A., Strobeck C. Fluctuating asymmetry : a measurement, analysis, patterns // Ann. Rev. in Ecol. and Syst. 1986. Vol. 17. P. 391–421.
14. Valetsky A. V., Dmitrieva I. L., Krushinskaya N. L., Zakharov V. M. Social Stress Impact on Developmental Stability of Laboratory Rat *Rattus Norvegicus* // Acta Theriol. 1997. № 4. P. 27–32.
15. Zakharov V. M., Valetsky A. V., Yablokov A. V. Dynamics of developmental stability of seals and pollution in the Baltic sea // Acta Theriol. 1997. № 4. P. 9–16.
16. Чубинишвили А. Т. Гомеостаз развития в популяциях озерной лягушки (*Rana ridibunda* Pall.), обитающих в условиях химического загрязнения в районе Средней Волги // Экология. 1998. № 1. С. 71–74.
17. Lajus D., Yurtseva A., Birch G., Booth D. J. Fluctuating asymmetry as a pollution monitor : The Australian estuarine smooth toadfish *Tetractenos glaber* (Teleostei : Tetraodontidae) // Marine Pollution Bulletin. 2015. № 101. P. 758–767.
18. Cuevas-Reyes P., Wilson Fernandes G., González-Rodríguez A., Pimenta M. Effects of generalist and specialist parasitic plants (Loranthaceae) on the fluctuating asymmetry patterns of ruprestrian host plants // Bas. and Appl. Ecol. 2011. Vol. 12, iss. 5. P. 449–455.
19. Martel J., Lempa K., Haukioja E. Effect of Stress and Rapid Growth on Fluctuating Asymmetry and Insect Damage in Birch Leaves // OIKOS. 1999. Vol. 86. P. 208–216.
20. Zvereva L., Kozlov M., Niemela P., Haukioja E. Delayed Induced Resistance and Increase in Leaf Fluctuating Asymmetry as Responses of *Salix borealis* to Insect Herbivory // Oecologia. 1997. Vol. 109. P. 368–373.
21. Блащинская О. Н., Забуга Г. А. Исследования флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой урботерритории г. Ангарска // Науч. альманах. 2016. № 7. С. 43–46.
22. Луцкан Е. Н., Шадрина Е. Г. Биоиндикационная оценка состояния окружающей среды города Алдана на основе анализа флуктуирующей асимметрии березы плосколистной // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 8-2. С. 139–142.
23. Рунова Е. М., Гнаткович П. С. Экологическая оценка рекреационных зон города Братска методом флуктуирующей асимметрии березы повислой // Фундаментальные исследования. 2013. № 11-2. С. 223–227.
24. Солдатова В. Ю., Шадрина Е. Г. Оценка качества среды территории г. Якутска по показателю нарушения стабильности развития березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz.). Якутск : Изд. дом СВФУ, 2016. 112 с.
25. Wuytsack T., Wuyts K., Dongen S., Baeten L., Kardel F., Verheyen K., Samson R. The effect of air pollution and other environmental stressors on leaf fluctuating asymmetry and specific leaf area of *Salix alba* L. // Environ. Poll. 2011. Vol. 159, iss. 10. P. 2405–2411.
26. ГОСТ 13056.6-97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. М. : ИПК Изд-во стандартов, 1998. 8 с.

Bioreindication of Environmental Quality of the Yakutsk City Administrative Districts on the Basis of Leaf Fluctuating Asymmetry and Seed Quality of the Silver Birch *Betula pendula* Roth.

V. Yu. Soldatova, E. G. Shadrina, D. N. Novgorodova

Viktoria Yu. Soldatova, ORCID 0000-0003-4777-0072, North-Eastern Federal University, 58 Belinsky Str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia, 677027, solvik75@mail.ru

Elena G. Shadrina, ORCID 0000-0002-9660-0072, Institute of Biological Problems of Cryolithozone, SB RAS, 41, Lenin Ave., Yakutsk, Russia, 677890, e-shadrina@yandex.ru

Daria N. Novgorodova, ORCID 0000-0002-6431-3781, North-Eastern Federal University, 58 Belinsky Str., Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia, 677027, dashanovg_9696@mail.ru



The environmental quality in the territory of Yakutsk city has been assessed by the leaf fluctuating asymmetry (FA) and seed quality (germinating capacity and germination energy) of the silver birch *Betula pendula* Roth. A total of 2,300 birch leaves were collected at 25 sites in vicinity of roadways and 21 samples of seeds were collected in the same sites. FA level at different sites varied within 0.042–0.057, which implies that the environmental quality varied from relatively normal to critical. The most problem-free condition of the trees was found in the control site at the Botanical garden. The analysis of the administrative districts has shown that the most problem FA levels are typical for the trees from the central part of the city, namely Central, Ocyabrskiy and Gubinskiy districts, where the greatest traffic load is observed. In the Industrial district environmental quality also was poor. Seed quality was evaluated in terms of germinating capacity and germination energy, both

parameters react to the deterioration of environmental quality in the city. There was a statistically significant negative correlation between FA value (which reflects developmental stability) and the indicators of seed quality; this fact indicates the consistency of the organism reactions to the environmental pollution.

Key words: fluctuating asymmetry, developmental stability, environmental quality, urban areas, bio assay, germination energy, seed germination.

Acknowledgements: *The investigation was conducted as a part of the basic assignment of Institute of Biological Problems of the Cryolithozone of the Siberian Branch of RAS, project's registration number AAAA-A17-117020110058-4.*

Образец для цитирования:

Солдатова В. Ю., Шадрина Е. Г., Новгородова Д. Н. Биоиндикационная оценка качества среды административных округов г. Якутска по показателям флуктуирующей асимметрии и качества семян берёзы повислой *Betula pendula* Roth. // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18, вып. 2. С. 216-224. DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-2-216-224.

Cite this article as:

Soldatova V. Yu., Shadrina E. G., Novgorodova D. N. Bioindication of Environmental Quality of the Yakutsk City Administrative Districts on the Basis of Leaf Fluctuating Asymmetry and Seed Quality of the Silver Birch *Betula pendula* Roth. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2018, vol. 18, iss. 2, pp. 216–224 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-2-216-224.
