

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА БИОИНДИКАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СРЕДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ УРАЛА

А.В. Бачурина, С.В. Залесов

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 620100, Россия, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37

zalesov@usfeu.ru

На основании метода биологической индикации предпринята попытка оценки качества среды вблизи промышленных предприятий Уральского региона на основе метода пробных площадей и флуктуирующей асимметрии листовых пластинок березы повислой (*Betula pendula* Roth.). В зоне влияния промышленных поллютантов предприятий АО «Карабашмедь» и ОАО «Уфалейникель» проведены исследования, согласно которым установлены существенные различия промышленных поллютантов указанных предприятий по составу: вокруг первого из них в составе аэропромвыбросов доминируют серосодержащие вещества и присутствуют оксиды углерода, меди и цинка, а также свинец, мышьяк, диоксид азота, неорганическая пыль и др., вокруг второго — диоксид серы, неорганическая пыль, бензопирен, оксид меди, никель и др. Показана высокая эффективность метода флуктуирующей асимметрии листовых пластинок березы повислой для оценки качества среды. Дана характеристика состояния окружающей среды в пределах Карабашского городского округа, существенно отличающаяся от нормы. В черте г. Верхний Уфалей, на расстоянии 7,6 км от предприятия ОАО «Уфалейникель», состояние окружающей среды определено как критическое. При этом на расстоянии более 10 км выявлено лишь начальное отклонение от нормы. В целом, можно отметить, что состояние окружающей среды на территории Карабашского городского округа и г. Верхний Уфалей, остается неблагоприятным.

Ключевые слова: качество среды, береза повислая, флуктуирующая асимметрия, интегральный показатель асимметрии, листовая пластинка, промышленные поллютанты

Ссылка для цитирования: Бачурина А.В., Залесов С.В. Использование метода биоиндикации для оценки качества среды промышленных городов Урала // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 3. С. 11–17. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-11-17

Ухудшение экологической ситуации в первую очередь связано с развитием промышленности, добычей и нерациональным использованием природных ресурсов. Ситуация усугубляется в связи с концентрацией промышленных предприятий, когда сочетание промышленных поллютантов различного химического состава создает неблагоприятную экологическую обстановку для проживающего населения [1]. По данным общественной экологической организации «Зеленый патруль», в национальном экологическом рейтинге регионов последнее место занимает Уральский Федеральный округ [2]. Среди шести субъектов, входящих в состав округа, наихудшее положение имеет Челябинская обл. В экологическом рейтинге среди субъектов РФ Челябинская обл. находится на предпоследнем — 84-м месте [3]. Основными источниками загрязнения окружающей среды здесь являются металлургические предприятия. По объемам производимой продукции черной металлургии регион не имеет равных. В области также развита цветная металлургия: здесь производят медь, никель, цинк, а также огнеупорные материалы из магнезита и др. Как правило, предприятия черной и цветной металлургии являются градообразующими и в то же время основными источниками поллютантов, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду [4, 5].

Неблагоприятная ситуация сложилась как в крупных городах — Челябинске и Магнитогорске, так и в некоторых малых городах области: Карабаш, Верхний Уфалей, Сатка и др.

Для оценки качества среды в двух городах Челябинской обл. Карабаш и Верхний Уфалей и на прилегающих к ним территориях нами были проведены соответствующие исследования.

Цель работы

Цель исследований — оценка экологического состояния городов Карабаш и Верхний Уфалей по показателю флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.).

Материалы и методы

В 2017–2018 гг. нами проведены исследования с применением метода флуктуирующей асимметрии листовой пластинки, рекомендованного Министерством природных ресурсов Российской Федерации для следующих целей: использования при определении состояния природных ресурсов; определения предельно допустимых нагрузок; выявления зон экологического бедствия; проведения работ по оценке воздействия на окружающую среду и при репрофилировании предприятий; оценки эффективности природоохранных мероприятий; создания особо охраняемых природ-

ных территорий [6]. Данная методика широко используется и доказала свою эффективность во многих регионах РФ [7–13]. Флуктуирующая асимметрия — это небольшие случайные различия от двусторонней симметрии у организмов или их частей (например, листьев березы), величину которых используют в качестве индикатора состояния среды, степени антропогенного загрязнения [6, 14, 15]. Сбор материала проводился на временных пробных площадях (ВПП), заложенных в соответствии с апробированными методиками [16, 17], после остановки роста листьев (начиная с конца июля). Образцы собирались из расчета по 10 листьев с 10 растений в каждом образце. У березы повислой (*Betula pendula* Roth.) листья отбирались только с укороченных побегов из нижней части кроны с максимального количества веток равномерно вокруг дерева. Для мерных признаков величина асимметрии у растений рассчитывалась как различие в промерах слева и справа, отнесенное к сумме промеров на двух сторонах. Для оценки показателей флуктуирующей асимметрии листовых пластинок березы повислой использовались следующие шесть показателей:

- 1) ширина половины листа;
- 2) длина второй от основания листа жилки второго порядка;
- 3) расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка;
- 4) расстояние между окончаниями первой и второй жилок второго порядка;
- 5) расстояние между окончаниями второй жилки второго порядка и вершиной листа;
- 6) угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка.

Длина жилок и расстояние между ними измеряли с точностью до 0,1 мм, угол прикрепления второй жилки к основной измеряли с точностью до 0,5°. На последнем этапе вычисляли интегральный показатель стабильности развития — величину среднего относительного различия между сторонами на признак. Для оценки степени выявленных отклонений от нормы, их места в общем диапазоне возможных изменений показателя разработана балльная шкала [18]. Диапазон между этими пороговыми уровнями ранжируется в порядке возрастания значений показателя: I балл (до 0,040), II (0,040–0,044), III (0,045–0,049), IV (0,050–0,054), V балл (более 0,054). По мере увеличения значения балла качество среды ухудшается. Так, если I балл соответствует условной норме, то при V балле условия среды характеризуются как критические.

Объекты исследований

В г. Карабаше основным источником промышленных поллютантов является АО «Кара-

башмедь» (до 2004 г. — Карабашский медеплавильный комбинат). Предприятие функционирует уже более 110 лет и по праву считается одним из старейших металлургических предприятий на территории Российской Федерации. Объем его производства достигает 150 тыс. т черновой меди в год. В процессе производства в атмосферу поступают газообразные вещества и пыль. При этом основным компонентом токсичных соединений являются серосодержащие вещества, на долю которых приходится около 90 % всех аэропромвыбросов. Кроме того, в составе выбросов присутствуют тяжелые металлы, оксиды углерода, мышьяк, диоксид азота, а также неорганическая пыль [1, 13].

Для достижения цели исследований были подобраны участки для сбора материала: четыре участка в местах естественного произрастания березы повислой и три — на участках лесной рекультивации. Объекты естественного произрастания березы расположены в северо-восточном направлении на расстоянии 0,8; 2,2; 8,0 и 13,0 км от источника промышленных поллютантов. Соответственно, участки №№ 1 и 2 находятся на территории Карабашского городского округа, а №№ 3 и 4 — на землях лесного фонда Карабашского участкового лесничества. Отметим также, что участок № 1 располагается в непосредственной близости к промышленной зоне АО «Карабашмедь», а участок № 2 — на горном склоне, у подножия которого пролегает ул. Ленина. Растительность на этом участке представлена только березой повислой. Три других объекта — это экспериментальные участки на горе Золотой, находящейся в черте г. Карабаша. На западном и восточном склонах этой горы в 1994 г. выполнена лесная рекультивация методом террасирования [19, 20]. Древесная растительность на этих участках в основном представлена березой повислой.

Основное градообразующее предприятие в г. Верхний Уфалей — ОАО «Уфалейникель». Предприятие длительное время занимало второе место в России по объемам производства никеля. Работа предприятия обусловила загрязнение атмосферного воздуха вредными веществами, содержащими диоксид серы, бензапирен, никель, неорганическую пыль и т. д. При этом объем выбросов ОАО «Уфалейникель» превышал 40 000 т в год. Низкие экономические показатели предприятия привели к тому, что в 2017 г. оно было закрыто из-за нерентабельности, другими словами, была проведена консервация оборудования [12]. Однако негативное воздействие деятельности ОАО «Уфалейникель» еще долгое время будет сохраняться в результате накопления вредных веществ в почве, растениях и т. д.

В сентябре 2017 г. нами был проведен отбор листьев березы повислой на пяти объектах: четы-

ре временных пробных площади (ВПП) заложены нами в 2015 г. для проведения исследований влияния промышленных поллютантов ОАО «Уфалейникель» на состояние некоторых компонентов насаждений и отнесены соответственно к зонам сильной (ВПП-2), средней (ВПП-5), слабой степени поражения (ВПП-7) и условно-контрольной ВПП-8К [21]. Пятая точка сбора располагалась в черте города на расстоянии 1,5 км от источника промышленных поллютантов.

Результаты и обсуждение

В августе-сентябре 2017–2018 гг. был собран материал для исследований, согласно методике, на территориях двух городских округов и прилегающих к ним лесных насаждениях (табл. 1).

Материалы, представленные в табл. 1, свидетельствуют о том, что качество окружающей среды Карабашского городского округа и его окрестностей не соответствует норме. В черте города наблюдаются существенные (значительные) отклонения от нормы, но с удалением от АО «Карабашмедь» состояние среды значительно улучшается. Интегральный показатель стабильности развития для березы повислой, произрастающей на расстоянии 8,0 км от источника промышленных поллютантов составляет 0,046, а на расстоянии 13,0 км — 0,041, и, согласно действующей шкале [18], соответствует III и II баллам (рис. 1).

Приведенный на рис. 1 график показывает, что зависимость имеет линейный характер. По мере удаления от предприятия как источника выбросов, улучшается состояние изучаемых деревьев березы, билатеральная симметрия листовых пластинок приближается к норме.

Материалы, полученные на участках лесной рекультивации, свидетельствуют о среднем и значительном отклонениях от нормы интегрального показателя асимметрии. На участке рекультивации № 1, расположенном на западном склоне горы Золотой, интегральный показатель стабильности развития соответствует III баллу, а на двух других — IV. Это вполне согласуется с факторами, влияющими на произрастание древесной растительности, оцениваемыми визуально. В отличие от участков №№ 2 и 3, где почва полностью отсутствует, на первом участке на террасах имеется почвенный покров небольшой мощности и, как следствие, формируются такие компоненты лесных насаждений, как подрост, подлесок и живой напочвенный покров.

По объектам, расположенным в г. Верхнем Уфалее и в прилегающих к нему лесных насаждениях, интегральные показатели стабильности развития приведены в табл. 2.

Согласно материалам табл. 2, балл состояния окружающей среды, определенный по показателю

Т а б л и ц а 1

Интегральные показатели стабильности развития березы повислой в окрестностях г. Карабаша

Integral indicators of the birch development stability in the vicinity of Karabash

Участок сбора материала	Расстояние от источника поллютантов, км	Интегральный показатель асимметрии	Балл состояния	Качество развития
№ 1 (черта города)	0,8	0,050	IV	Существенные (значительные) отклонения от нормы
№ 2 (черта города)	2,2	0,053	IV	Существенные (значительные) отклонения от нормы
№ 3 (северо-восточное направление)	8,0	0,046	III	Средний уровень отклонения от нормы
№ 4 (северо-восточное направление)	13,0	0,041	II	Начальные (незначительные) отклонения от нормы
Участок рекультивации № 1. Западный склон горы Золотой	3,1	0,047	III	Средний уровень отклонения от нормы
Участок рекультивации № 2. Западный склон горы Золотой	3,0	0,054	IV	Существенные (значительные) отклонения от нормы
Участок рекультивации № 3. Восточный склон горы Золотой	3,3	0,053	IV	Существенные (значительные) отклонения от нормы

флуктуирующей асимметрии деревьев березы существенно отличается в зависимости от местоположения взятия образца. В частности, на расстоянии до 7,6 км от ОАО «Уфалейникель» состояние окружающей среды можно оценить как критическое. По мере дальнейшего удаления от источника промышленных поллютантов состояние окружающей среды улучшается и на расстоянии от 17 до 21 км оно характеризуется незначительным отклонением от нормы. Таким образом, рассеивание промышленных поллютантов по мере удаления от источника выбросов приводит к улучшению состояния окружающей

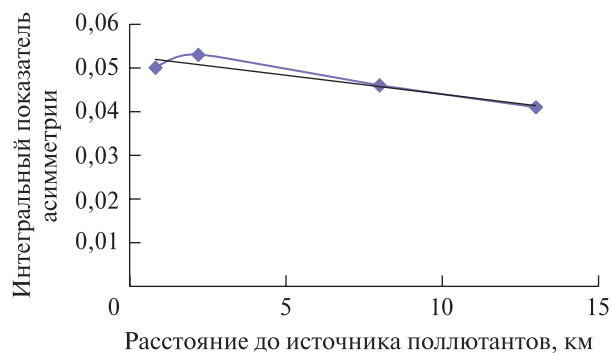


Рис. 1. Зависимость величины интегрального показателя асимметрии листьев березы от расстояния до АО «Карабашмедь»

Fig. 1. The dependence of the integral index of birch leaves asymmetry on the distance to Karabashmed JSC

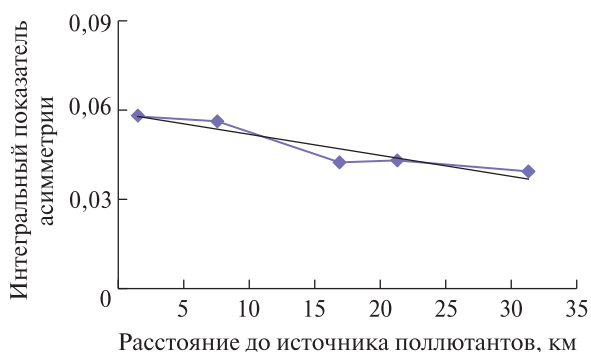


Рис. 2. Зависимость интегрального показателя асимметрии листьев березы от удаления участков их произрастания от ОАО «Уфалейникель»

Fig. 2. The dependence of the integral index of asymmetry of birch leaves on the remote areas of their growth from Ufaleinikel OJSC

среды и при удалении более чем на 30 км она характеризуется условно нормальным состоянием. Зависимость состояния деревьев березы от расстояния до источника промышленных поллютантов отмечалась и другими исследователями [20].

Особо следует отметить, что данные табл. 2 позволяют проследить зависимость среднего состояния среды, установленного по показателю флуктуирующей асимметрии от зоны поражения. Так, в зоне сильного поражения показатели состояния среды характеризуются как критическое. В зоне средней степени поражения — как незначительное отклонение от нормы, а в зоне контроля — как условно нормальное состояние. Другими словами, полученный интегральный показатель асимметрии листьев березы на ВПП-8К (31,3 км) свидетельствует об условно нормальном состоянии качества среды, т. е. эти деревья произрастают в благоприятных экологических условиях. Значение среднего балла категории состояния деревьев березы на этой ВПП составляет 1,9.

Т а б л и ц а 2

Интегральные показатели стабильности развития березы повислой в окрестностях г. Верхний Уфалей

Integral indicators of European birch development stability in the vicinity of Verkhny Ufaley

Место сбора образцов	Расстояние от источника поллютантов, км	Интегральный показатель асимметрии	Балл состояния	Качество развития
Черта города	1,5	0,058	V	Критическое состояние
Зона сильной степени поражения ВПП-2	7,6	0,056	V	Критическое состояние
Зона средней степени поражения ВПП-5	16,9	0,042	II	Начальные (незначительные) отклонения от нормы
Зона слабой степени поражения ВПП-7	21,3	0,043	II	Начальные (незначительные) отклонения от нормы
ВПП-8К	31,3	0,039	I	Условно нормальное состояние

Зависимость интегрального показателя флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой от расстояния до источника промышленных поллютантов представлена на рис. 2.

На графике, представленном на рис. 2, указана зависимость, которая с высокой степенью вероятности описывается уравнением. Зависимость прямолинейная. При этом интегральный показатель асимметрии приближается к условной норме на расстоянии более 25 км от предприятия.

Помимо промышленных поллютантов на состояние древесных растений и окружающую среду существенное влияние оказывают и другие антропогенные факторы. К последним можно отнести выбросы автотранспорта, рекреационное воздействие и т. п.

Использование метода определения состояния окружающей среды по асимметрии листовых пластинок березы повислой позволяет оперативно, без дорогостоящих приборов, определить экологическую обстановку в регионе, осуществлять экологический мониторинг за состоянием

окружающей среды. Уникальность метода наряду с простотой применения объясняется возможностью его использования при наличии различных видов негативного антропогенного воздействия на окружающую среду.

Выводы

1. Для оценки качества среды эффективным признан метод флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой.

2. В состоянии качества среды на территории Карабашского городского округа наблюдаются существенные (значительные) отклонения от нормы. На значительном удалении от АО «Карабашмедь» — 8,0 и 13,0 км качество среды имеет средний и начальный уровень отклонений от нормы соответственно.

3. Состояние среды в черте г. Верхний Уфалей (1,5 км) и на расстоянии до 8 км от источника промышленных поллютантов оценивается как критическое. На объектах, удаленных на расстояние 16,9 и 21,3 км от АО «Уфалейникель», состояние окружающей среды нормализуется, а при удалении на 30 км оно характеризуется как близкое к нормальному.

4. Установленная зависимость интегрального показателя асимметрии листьев березы у деревьев на участках их естественного произрастания от расстояния до АО «Карабашмедь», имеет линейный характер. Аналогичная зависимость выявлена на объектах, расположенных в окрестностях г. Верхний Уфалей.

5. Состояние окружающей среды на территории Карабашского городского округа и г. Верхний Уфалей, несмотря на предпринимаемые попытки модернизации или закрытия производств, остается неблагоприятным.

Список литературы

- [1] Залесов С.В., Бачурина А.В., Бачурина С.В. Состояние лесных насаждений, подверженных влиянию промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь», и реакция их компонентов на проведение рубок обновления. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. URL: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620> (дата обращения 03.02.2020).
- [2] Экологический рейтинг федеральных округов Российской Федерации. Зеленый патруль. Осень 2019. URL: https://greenpatrol.ru/sites/default/files/pictures/prilozhenie_2_ekologicheskij_reyting_regionov_federalnye_okruga_osen_2019.docx (дата обращения 03.02.2020).
- [3] Экологический рейтинг субъектов Российской Федерации. Зеленый патруль. Осень 2019. URL: <https://greenpatrol.ru/ru/stranica-dlya-obshchego-reytinga/ekologicheskij-reyting-subektov-rf?tid=380> (дата обращения 03.02.2020).
- [4] Жилищно-коммунальное хозяйство и качество жизни в XXI веке: экономические модели, новые технологии и практики управления: коллективная монография / под ред. Я.П. Силина, Г.А. Астратовой. Москва; Екатеринбург: Изд. центр «Науковедение», 2017. 600 с.
- [5] Проблема экономической безопасности: теория и практика: коллективная монография / под ред. С.И. Колесникова. Екатеринбург: УГЛТУ, 2019. 167 с.
- [6] Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды по состоянию живых существ (оценка стабильности живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур). Утв. Распоряжением Росэкологии от 16.10.2003 № 460-р. URL: <https://base.garant.ru/2159808/> (дата обращения 03.02.2020).
- [7] Бачурина А.В., Куликова Е.А. Оценка качества среды на территории г. Новотроицка Оренбургской области по состоянию березы повислой // Леса России и хозяйство в них, 2019. № 2 (69). С. 30–37.
- [8] Минакова Е.А., Шлычков А.П., Шайхiev И.Г. Оценка окружающей среды урбосистемы г. Казань с использованием метода биоиндикации: природоохранные территории // Вестник технологического университета, 2015. Т. 18. № 17. С. 225–229.
- [9] Савинцева Л.С., Егошина Т.Л., Ширяев В.В. Оценка качества урбаносреды г. Кирова на основе анализа флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) // Вестник Удмуртского университета, 2012. № 2. С. 31–37.
- [10] Волчатова И.В., Попова Н.А. Оценка стабильности развития древесных растений в условиях антропогенного воздействия // XXI век. Техносферная безопасность, 2018. Т. 3. № 1. С. 43–55.
- [11] Залесов С.В., Азбаев Б.О., Белов Л.А., Суюндиков Ж.О., Залесова Е.С., Оплетаяев А.С. Использование показателей флуктуирующей асимметрии березы повислой для оценки ее состояния // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 742.
- [12] Залесов С.В., Бачурина А.В., Швелелина А.О. Оценка стабильности состояния березы на различном удалении от ОАО «Уфалейникель» // Леса России и хозяйство в них, 2017. № 1 (64). С. 21–27.
- [13] Залесов С.В., Бачурина А.В. Оценка качества окружающей среды на территории Карабашского городского округа по состоянию березы повислой // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2019. № 2 (158). С. 38–41.
- [14] Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Захарова В.М. Анализ стабильности развития березы повислой в условиях химического загрязнения // Экология, 1996. № 6. С. 441–444.
- [15] Gowart N.M., Graham J.H. Within-and among-individual variation in fluctuating asymmetry of leaves in the fig (*Ficus carica* L.) // International J. of Plant Sciences, 1999, no. 160, pp. 116–121.
- [16] Бунькова Н.П., Залесов С.В., Зотеева Е.А., Магасумова А.Г. Основы фитомониторинга. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. 89 с.
- [17] Данчева А.В., Залесов С.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 152 с.
- [18] Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И. Здоровье среды: методы оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.
- [19] Михеев А.Н. Лесная рекультивация нарушенных земель горных склонов в зоне влияния медеплавильного производства (на примере ЗАО «Карабашмедь»): Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2013. 24 с.
- [20] Швелелина А.О., Бачурина А.В. Влияние промышленных поллютантов ОАО «Уфалейникель» на санитарное состояние древостоев прилегающих сосняков // УГЛТУ в решении социальных и лесоводственно-экологических проблем лесного комплекса Урала и Западной Сибири. Материалы XIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов Ин-та леса и природопользования. Екатеринбург: УГЛТУ, 2017. С. 224–227.
- [21] Михеев А.Н., Залесов С.В. Опыт лесной рекультивации в работе медеплавильного завода ЗАО «Карабашмедь» // Аграрный вестник Урала, 2013. № 4 (110). С. 44–45.

Сведения об авторах

Бачурина Анна Владимировна — канд. с.-х. наук, доцент кафедры лесоводства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 9502011169@mail.ru

Залесов Сергей Вениаминович — д-р с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой лесоводства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», Zalesov@usfeu.ru

Поступила в редакцию 12.02.2020.

Принята к публикации 10.04.2020.

BIOINDICATION METHOD APPLICATION TO ASSESS ENVIRONMENT QUALITY OF INDUSTRIAL CITIES IN THE URALS

A.V. Bachurina, S.V. Zalesov

Ural State Forest Engineering University, 37, Sibirsky tract, 620100, Ekaterinburg, Russia

Zalesov@usfeu.ru

On the base of biologic indication method an attempt has been made to assess the environment quality near industrial enterprises of the Ural region. The study is based on the method of trial plots and fluctuating asymmetry of hanging birch (*Betula pendula* Roth.) leaf blades. The studies have been carried out in the zone of industrial pollutant of «Karabashmed oil enterprise» and «Ufaleynickel» influence. Industrial pollutants of these enterprises are varied significantly in composition. Around the corporation «Karabashmed» carbon oxides, oxides of copper and zink, lead, arsenic, nitrogen dioxide, inorganic dust and some others are present in the composition oil industrial discharge. As for enterprise «Ufaleynickel» sulphur dioxide, inorganic dust, benzopyrene copper oldie, nickel and some others. The study was established to be highly effective as concerns the metalloids of fluctuating asymmetry of hanging birch leaf blades for environment quality estimation. On the territory of Karabash Urban district the state of the environment is characterized by insignificant deviation from the norm and within the boundaries of Ufaley town away at a distance of 7,6 km the enterprise as a critical. Herewith at a distance of more than 10 km only initial deviation from the norm was revealed. In general it can be noted that the state of the environment despite attempts to modernize or liquidate a harmful enterprise on the territory of Karabash Urban district and Ufaley settlement remains unfavourable.

Keywords: corporation «Karabashmedy», OC «Ufaleynickel», environment quality, hanging birch, fluctuating asymmetry, asymmetry integral indicator, leaf beadle, industrial pollutants

Suggested citation: Bachurina A.V., Zalesov S.V. *Ispol'zovanie metoda bioindikatsii dlya otsenki kachestva sredy promyshlennykh gorodov Urala* [Bioindication method application to assess environment quality of industrial cities in the Urals]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 3, pp. 11–17.

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-3-11-17

References

- [1] Zalesov S.V., Bachurina A.V., Bachurina S.V. *Sostoyaniye lesnykh nasazhdeniy, podverzhennykh vliyaniyu promyshlennykh pollutantov ZAO «Karabashmed»*, i reaktsiya ikh komponentov na provedeniye rubok obnoveniya [The state of forest stands subject to the influence of industrial pollutants of CJSC «Karabashmed», and the reaction of their components to cutting updates] [Electronic resource]. Ekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2017. Available at: <http://elar.usfeu.ru/handle/123456789/6620> (accessed 03.02.2020).
- [2] *Ekologicheskiy reyting federal'nykh okrugov Rossiyskoy Federatsii. Zelenyy patrol'. Osen' 2019* [Environmental rating of the federal districts of the Russian Federation. Green patrol. Autumn 2019]. Available at: https://greenpatrol.ru/sites/default/files/pictures/prilozhenie_2_ekologicheskiy_reyting_regionov_federalnye_okruga_osen_2019.docx (accessed 03.02.2020).
- [3] *Ekologicheskiy reyting sub'yektov Rossiyskoy Federatsii. Zelenyy patrol'. Osen' 2019*. [Environmental rating of the constituent entities of the Russian Federation. Green patrol. Autumn 2019]. Available at: <https://greenpatrol.ru/stranica-dlya-obshchego-reytinga/ekologicheskiy-reyting-subektov-rf?tid=380> (accessed 03.02.2020).
- [4] *Zhilishchno-kommunal'noye khozyaystvo i kachestvo zhizni v XXI veke: ekonomicheskiye modeli, novyye tekhnologii i praktiki upravleniya: kollektivnaya monografiya* [Housing and utilities and the quality of life in the XXI century: economic models, new technologies and management practices: a collective monograph]. Ed. I.P. Silin, G.A. Astratova. Moscow, Ekaterinburg: Center «Science of Science», 2017, 600 p.
- [5] *Problema ekonomicheskoy bezopasnosti: teoriya i praktika: kollektivnaya monografiya* [The problem of economic security: theory and practice: collective monography]. Ed. S.I. Kolesnikov. Ekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2019, 16 p.
- [6] *Metodicheskiye rekomendatsii po vypolneniyu otsenki kachestva sredy po sostoyaniyu zhivykh sushchestv (otsenka stabil'nosti zhivykh organizmov po urovnyu asimmetrii morfoloicheskikh struktur)* [Guidelines for assessing the quality of the environment according to the state of living things (assessment of the stability of living organisms according to the level of asymmetry of morphological structures)]. Approved By the order of the Russian Ecology of October 16, 2003 No. 460-r. Available at: <https://base.garant.ru/2159808/> (accessed 03.02.2020).

- [7] Bachurina A.V., Kulikova E.A. *Otsenka kachestva sredy na territorii g. Novotroitska Orenburgskoy oblasti po sostoyaniyu berezy povisloy* [Assessment of environmental quality in the territory of the Novotroitsk Orenburg region according to the state of the birch hanging]. Forests of Russia and the economy in them, 2019, no. 2 (69), pp. 30–37.
- [8] Minakova E.A., Shlychikov A.P., Shaikhiyev I.G. *Otsenka okruzhayushchey sredy urbosistemy g. Kazan' s ispol'zovaniyem metoda bioindikatsii: pridorozhnyye territorii* [Environmental assessment of the urban system of Kazan using the bioindication method: roadside territories]. Bulletin of the Technological University, 2015, v. 18, no. 17, pp. 225–229.
- [9] Savintseva L.S., Egoshina T.L., Shiryayev V.V. *Otsenka kachestva urbanosredy g. Kirova na osnove analiza fluktuiruyushchey asimetrii listovoy plastinki berezy povisloy (Betula pendula Roth.)* [Quality assessment of the urban environment of the city of Kirov based on the analysis of fluctuating asymmetry of the leaf blade of birch bent (*Betula pendula Roth.*)]. Bulletin of Udmurt University, 2012, no. 2, pp. 31–37.
- [10] Volchatova I.V., Popova N.A. *Otsenka stabil'nosti razvitiya drevesnykh rasteniy v usloviyakh antropogennogo vozdeystviya* [Assessment of the stability of the development of woody plants under anthropogenic impact]. XXI century. Technosphere Security, 2018, v. 3, no. 1, pp. 43–55.
- [11] Zalesov S.V., Azbaev B.O., Belov L.A., Suyundikov Zh.O., Zalesova E.S., Opletaev A.S. *Ispol'zovaniye pokazateley fluktuiruyushchey asimetrii berezy povisloy dlya otsenki yeye sostoyaniya* [The use of indicators of fluctuating asymmetry of birch hanging to assess its condition]. Modern problems of science and education, 2014, no. 5, p. 742.
- [12] Zalesov S.V., Bachurina A.V., Shevelina A.O. *Otsenka stabil'nosti sostoyaniya berezy na razlichnom udalenii ot OAO «Ufaleynikel'»* [Assessment of the stability of the state of birch at different distances from Ufaleinikel]. Forests of Russia and the economy in them, 2017, no. 1 (64), pp. 21–27.
- [13] Zalesov S.V., Bachurina A.V. *Otsenka kachestva okruzhayushchey sredy na territorii Karabashskogo gorodskogo okruga po sostoyaniyu berezy povisloy* [Assessment of environmental quality in the territory of the Karabash urban district as birch hanging]. Use and protection of natural resources in Russia, 2019, no. 2 (158), pp. 38–41.
- [14] Kryazheva N.G., Chistyakova E.K., Zakharova V.M. *Analiz stabi'nosti razvitiya berezy povisloy v usloviyakh khimicheskogo zagryazneniya* [Analysis of the stability of the development of birch saggy under conditions of chemical pollution]. Ecology, 1996, no. 6, pp. 441–444.
- [15] Gowart N.M., Graham J.H. Within-and among-individual variation in fluctuating asymmetry of leaves in the fig (*Ficus carica L.*). International J. of Plant Sciences, 1999, no. 160, pp. 116–121.
- [16] Bunkova N.P., Zalesov S.V., Zoteeva E.A., Magasumova A.G. *Osnovy fitomonitoringa* [The basics of phytomonitoring]. Ekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2011, 89 p.
- [17] Dancheva A.V., Zalesov S.V. *Ekologicheskiy monitoring lesnykh nasazhdeniy re-kreationsnogo naznacheniya* [Ecological monitoring of forest stands for recreational purposes]. Ekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2015, 152 p.
- [18] Zakharov V.M., Baranov A.S., Borisov V.I. *Zdorov'ye sredy: metody otsenki* [Environmental health: assessment methods]. Moscow: Center for Environmental Policy of Russia, 2000, 68 p.
- [19] Mikheev A.N. *Lesnaya rekul'tivatsiya narushennykh zemel' gornyykh sklonov v zone vliyaniya medeplavil'nogo proizvodstva (na primere ZAO «Karabashmed'»)* [Forest reclamation of disturbed lands on mountain slopes in the zone of influence of copper smelting (for example, «Karabashmed»). Author. dis. ... Cand. Sci. (Agric.). Ekaterinburg, 2013, 24 p.
- [20] Shevelina A.O., Bachurina A.V. *Vliyaniye promyshlennykh pollyutantov OAO «Ufaleynikel'» na sanitarnoye sostoyaniye drevostoyev prilgayushchikh sosnyakov* [The influence of industrial pollutants of OJSC «Ufaleinikel'» on the sanitary condition of forest stands of adjacent pine forests]. UGLTU in solving social, forestry and environmental problems of the forest complex of the Urals and Western Siberia. XIII All-Russian scientific tech. conf. undergraduate and graduate students of the Institute of Forest and Nature Management. Ekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, 2017, pp. 224–227.
- [21] Mikheev A.N., Zalesov S.V. *Opyt lesnoy rekul'tivatsii v rabote medeplavil'nogo zavoda ZAO «Karabashmed'»* [The experience of forest reclamation in the operation of the smelter of CJSC «Karabashmed»). Agrarian Bulletin of the Urals, 2013, no. 4 (110), pp. 44–45.

Authors' information

Bachurina Anna Vladimirovna — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor of the Forestry Chair of the Ural State Forest Engineering University, 9502011169@mail.ru

Zalesov Sergey Veniaminovich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Forestry Chair of the Ural State Forest Engineering University, Zalesov@usfeu.ru

Received 12.02.2020.

Accepted for publication 10.04.2020.