

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ
ВБЛИЗИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ «БОРОДИНСКОЕ» И «ИТАТСКОЕ»
КАНСКО-АЧИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

G.G. Pervyshina, I.S. Korotchenko

THE ASSESSMENT OF STABILITY OF DEVELOPMENT OF SILVER BIRCH, GROWING
NEAR THE FIELDS «BORODINSKOE» AND «ITATSKOYE» OF KANSK-ACHINSK COAL BASIN

Первышина Г.Г. – д-р биол. наук, проф. каф. технологии и организации общественного питания Торгово-экономического института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: eva_apple@mail.ru

Коротченко И.С. – канд. биол. наук, доц. каф. экологии и естествознания Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: kisaspi@mail.ru

Pervyshina G.G. – Dr. Biol. Sci., Prof., Chair of Technology and Organization of Public Catering, Trade and Economic Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: eva_apple@mail.ru

Korotchenko I.S. – Cand. Biol. Sci., Assoc. Prof., Chair of Ecology and Natural Sciences, Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk. E-mail: kisaspi@mail.ru

В статье рассмотрено воздействие отраспи, добывающей бурый уголь в месторождениях «Бородинское» и «Итатское» Канско-Ачинского угольного бассейна, на состояние стабильности развития березы повислой. Отмечено, что в месторождениях «Бородинское» и «Итатское» уголь добывают открытым способом, поэтому эти месторождения разрушают естественные ландшафты, приводя к негативным экологическим последствиям: химическому, стационально-деструкционному, радиационному загрязнению. Для оценки воздействия месторождений «Бородинское» и «Итатское» исследовали флуктуирующую асимметрию листовых пластинок березы повислой. Сбор растительного материала проводили в 2016 г. в радиусе 200 м от производственных комплексов разреза Бородинский. Дана характеристика уровня флуктуирующей асимметрии березы повислой как с помощью традиционного, так и нормированного показателей асимметрии. Выявили существенные нарушения в развитии березы повислой, произрастающей вблизи угольных шахт п. Итатский, что проявилось в наибольшем значении традиционного интегрального показателя флуктуирующей асимметрии по сравнению с традиционным интегральным показателем флуктуирующей асимметрии листовых пла-

стинок березы повислой, произрастающей вблизи с разрезом Бородинский. Похожие отличия между растениями, растущими вблизи угольных шахт «Итатский», «Бородинское», выявлены и при применении нормированного интегрального индекса флуктуирующей асимметрии. Показано, что наиболее чувствительным к загрязнению окружающей среды морфологическим признаком явилось расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка листовых пластинок березы повислой. Таким образом, метод биоиндикации с помощью традиционного и нормированного интегральных индексов флуктуирующей асимметрии листовых пластинок березы повислой позволил выявить разную степень нарушения стабильности развития, которая зависит от особенностей среды обитания, антропогенного пресса.

Ключевые слова: биоиндикация, загрязнение, асимметрия, стабильность развития, береза повислая.

In the study the impact of the branch extracting brown coal in Borodino and Itatskoye fields of Kansk and Achinsk coal basins on the condition of stability of development of silver birch was considered. It was noted that in Borodino and Itatskoye fields the coal was extracted in the open way there-

fore these fields destroy natural landscapes, leading to negative ecological consequences: chemical, statial-destructive, radiation pollution. For the assessment of influence of Borodino and Itatskoye fields the fluctuating asymmetry of sheet plates of silver birch was investigated. Collecting plant material was carried out in 2016 in the radius of 200 m from industrial complexes of Borodino coal mine. The characteristic of the level of fluctuating asymmetry of silver birch as by means of traditional, and rated indicators of asymmetry was given. Essential violations in the development of silver birch, growing near coal mines of the village Itatsky which was shown in the greatest value of traditional integrated indicator of the fluctuating asymmetry in comparison with traditional integrated indicator of fluctuating asymmetry of leaf plates of silver birch, growing close to Borodino coal mine were revealed. Similar difference between the plants growing near coal mines "Itatsky", "Borodino" was also revealed at application of rated integrated index of the fluctuating asymmetry. It was shown that morphological feature, most sensitive to environmental pollution, was the distance between the bases of the first and second veins of the second order of leaf plates of silver birch. Thus, the bioindication method by means of traditional and rated integrated indexes of fluctuating asymmetry of leaf plates of silver birch allowed to reveal different extent of violation of stability of development depending on the features of habitat, an anthropogenous press.

Key words: bioindication, pollution, asymmetry, developmental stability, silver birch.

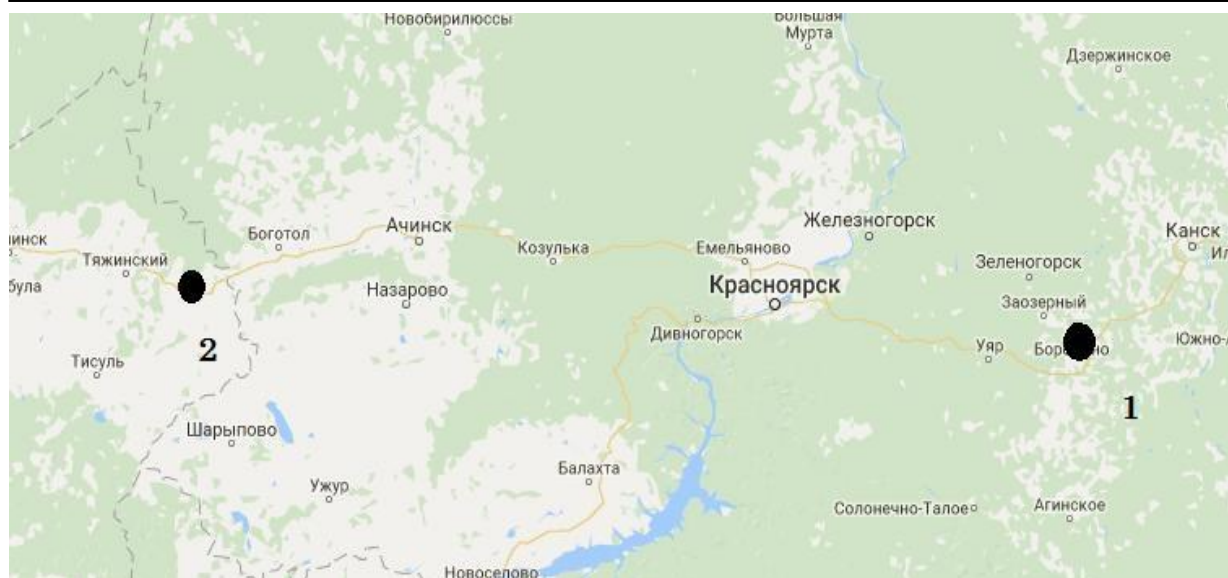
Введение. На сегодняшний день угольная отрасль России представляет собой динамично развивающуюся сферу производственной деятельности человека. При этом по оценке, приведенной С.И. Шматко [1], особое внимание с точки зрения наращивания производственного потенциала следует уделять районам Восточной Сибири, в частности развитию Канско-Ачинского бассейна. Действительно, в работе [2] отмечено, что Сибирскому федеральному округу принадлежит основная доля от общего

объема добычи угля на территории Российской Федерации. При этом зарегистрировано ежегодное увеличение добычи угля. Так, прирост добычи бурого угля в 2016 г. по сравнению с 2015 г. составил на территории Красноярского края 106 [3] и 105 % – на территории Кемеровской области [4].

Добываемые угли месторождений «Бородинское» и «Итатское» – бурые, относятся к группе 2Б, добыча ведется открытым способом, что приводит к оказанию на окружающую среду ряда негативных, с экологической точки зрения, воздействий. В частности стоит отметить стационально-деструкционное загрязнение, связанное с разрушением не только почвенного слоя и структуры земной поверхности, но и возникновением отвалов пустой породы вблизи территории предприятий. Кроме того, немаловажное значение будет иметь и ингредиентное загрязнение вследствие рассеяния вблизи территории шахт как частиц добываемого угля, так и образующихся отходов. Перечисленные выше виды антропогенного воздействия на окружающую среду могут оказывать влияние на изменение физиологических и морфологических показателей живых организмов [5]. В работах [6–8] отмечено, что наиболее доступным и оптимальным критерием оценки уровня воздействия условий окружающей среды на растительность являются билатеральные морфологические признаки, характеризующие степень асимметрии листовой пластинки древесных растений.

Цель исследования: оценить методом флуктуирующей асимметрии листовой пластинки стабильность развития березы повислой (*Betula pendula* Roth), произрастающей вблизи месторождений «Бородинское» и «Итатское» Канско-Ачинского угольного бассейна.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования служили одиночные деревья вида *Betula pendula* Roth (береза повислая) возрастом 15–20 лет, произрастающие в одинаковых экологических условиях – в радиусе 200–300 м относительно территории разрезов (рис.).



Расположение мест отбора проб: 1 – месторождение «Бородинское»; 2 – месторождение «Итатское» Канско-Ачинского угольного бассейна

Сбор экспериментального материала осуществляли по рекомендациям [9] с южной и западной стороны кроны (средняя часть) в конце августа 2016 г., после полного формирования листовой пластинки в трехкратной повторности с десяти деревьев (не менее 50 листьев $i = 1-50$). Измерения пяти билатеральных признаков: ширины левой и правой половинок листовой пластинки ($j = 1$); расстояния от основания до конца жилки второго порядка, второй от основания листовой пластинки ($j = 2$); расстояния между основаниями первой и второй жилок второго

порядка ($j = 3$); расстояния между концами первой и второй жилок второго порядка ($j = 4$); угла между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка ($j = 5$), – проводили на предварительно подготовленном (высушенном), согласно [10], материале. Статистическая обработка полученных результатов проводилась с использованием традиционного и базового способа нормировки статистических данных согласно рекомендациям, изложенным в работе А.А. Зориной [11] (табл. 1).

Таблица 1

Формулы расчета показателей флуктуирующей асимметрии и интегральных признаков [11]

Показатель асимметрии	Одной особи по одному признаку	Выборки по одному признаку	Одной особи по всем признакам и интегральный индекс
1. Традиционный	$fa_{ij} = \frac{ L_{ij} - R_{ij} }{(L_{ij} + R_{ij})}$	$fa_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{ L_{ij} - R_{ij} }{(L_{ij} + R_{ij})}$	$fa_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \frac{ L_{ij} - R_{ij} }{(L_{ij} + R_{ij})},$ $FA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n fa_i$
2. Нормированный	$fa_{ij} = (t_{Lij} - t_{Rij})$ $t_{Lij} = (L_{ij} - ML_j)/SL_j$ $t_{Rij} = (R_{ij} - MR_j)/SR_j$	$fa_j = S^2_{faij}$	$fa_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m fa_{ij}$ $Fa = S^2_{fai}$

Результаты исследования и их обсуждение. На развитие деревьев, расположенных вблизи шахт, которые ведут добычу угля открытым способом, в целом и их листовых пластинок в частности оказывают влияние такие факторы, как шахтные газы, выходящие на поверхность, и горящие отвалы, способствующие поступлению в атмосферу твердых и газообразных веществ, переносимых воздушными массами на значительные расстояния. Нельзя не учитывать и влияние на растительные ресурсы взвешенных

угольно-породных частиц, попадающих в водные объекты (как поверхностного, так и подземного характера) вместе со сточными водами. Влияние вышеперечисленных факторов может приводить к ухудшению состояния окружающей среды в радиусе нескольких километров.

В таблице 2 представлено изменение морфологических признаков листовых пластинок березы повислой, отобранных на рассматриваемых территориях.

Таблица 2

Показатели и интегральные индексы флуктуирующей асимметрии листовых пластинок березы повислой

Показатель	Место отбора проб	fa_j					FA	Балл
		$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	$j = 5$		
1*	п. Итатский	0,021	0,039	0,184	0,085	0,019	0,069	V
	Разрез Бородинский	0,033	0,026	0,123	0,060	0,026	0,053	IV
2**	п. Итатский	0,051	0,246	0,460	0,148	0,205	0,065	
	Разрез Бородинский	0,265	0,098	0,052	0,302	0,413	0,047	

* Интегральный индекс (нормированный). ** Интегральный индекс (традиционный).

Как показывает первый интегральный индекс (традиционный), флуктуирующая асимметрия листовых пластинок березы повислой, произрастающей вблизи шахты п. Итатский, существенно превышает аналогичное значение для деревьев, растущих в радиусе 200 м от производственных комплексов разреза Бородинский. Аналогичная закономерность выявлена и в случае использования второго интегрального индекса (нормированного). Действительно, авторами [12] отмечается, что традиционный интегральный показатель может хорошо работать в условиях достаточно сильного антропогенного загрязнения, что и зарегистрировано в нашем случае. При этом наиболее чувствительным морфологическим признаком (основываясь на показателе 1) можно считать расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка листовых пластинок березы повислой.

Согласно [9], деревья в районе первой опытной площадки (п. Итатский) испытывают сильное угнетение и находятся в критическом состоянии, так как величина показателя стабильности развития превышает значение 0,054. В районе второй опытной площадки (разрез Бородинский) ситуация несколько благополучнее, однако растения все-таки испытывают значительное воздействие неблагоприятных факторов и имеют существенные нарушения в своем развитии.

Данное различие может быть связано с химическим составом угольных частиц, как поступающих в атмосферу, так и попадающих в водные объекты. Так, авторами [13] было отмечено, что в углях Итатского месторождения имеется значительное превышение кларка двумя элементами: ураном и кобальтом.

Выводы

1. Сравнительный анализ двух способов определения показателей флуктуирующей асимметрии и интегральных индексов показал возможность использования как традиционного, так и нормированного метода в условиях сильного антропогенного воздействия на окружающую среду.

2. Изучение флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой позволило выявить различную степень нарушения стабильности развития растений в зависимости от места произрастания. Отмечены более существенные нарушения в развитии растений, произрастающих вблизи угольных шахт п. Итатский, по сравнению с разрезом Бородинский, что можно объяснить химическим составом добываемого угля (повышенное содержание урана и кобальта).

3. Показано, что наиболее чувствительным морфологическим признаком, основываясь на показателе интегрального индекса (традиционного) флуктуирующей асимметрии, является расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка листовых пластинок березы повислой.

Литература

1. Шматко С.И. Перспективы развития топливно-энергетического комплекса России [Электрон. ресурс] // Инфраструктура России: федер. справ. 2012. – Т. 1. – С. 27–40. URL: <http://federalbook.ru/files/Infrastruktura/Soderjaniye//Shmatko.pdf> (дата обращения: 26.05.2017).
2. Добыча угля [Электрон. ресурс] // Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации. – М., 2008–2017. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/435> (дата обращения: 26.05.2017).
3. Красноярский краевой статистический ежегодник, 2016: стат. сб. // Красноярскстат. – Красноярск, 2016. – 498 с. – URL: <http://krasstat.gks.ru> (дата обращения: 26.05.2017).
4. Кузбасс в цифрах: стат. справ. [Электрон. ресурс]. – Кемерово, 2017. – URL:

<http://kemerovostat.gks.ru/> (дата обращения: 26.05.2017).

5. Астауров Б.Л. Исследования наследственных нарушений развития билатеральной симметрии в связи с изменчивостью одинаковых структур в пределах организма // Наследственность и развитие. – М.: Наука, 1974. – С. 54–109.
6. Полонский В.И., Полякова В.С. Сирень венгерская – перспективный биоиндикатор для сравнительной оценки степени загрязнения городской среды // Вестн. КрасГАУ. – 2014. – № 2. – С. 89–92.
7. Низкий С.Е., Сергеева А.А. Флуктуирующая асимметрия листьев березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukacz.) как критерий качества окружающей среды // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 7. – С. 14–17.
8. Коротченко И.С. Биоиндикация загрязнения районов г. Красноярска по величине флуктуирующей асимметрии листовой пластинки вяза приземистого // Вестн. КрасГАУ. – 2015. – № 11. – С. 67–72.
9. Здоровье среды: методика оценки / Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И. [и др.]. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 66 с.
10. Методические рекомендации по выполнению оценки качества среды на состояние живых существ (оценка стабильности развития живых организмов по уровню асимметрии морфологических структур): распоряжение Росэкологии от 16.10.2003 № 460-Р. – М., 2003. – 24 с.
11. Зорина А.А. Методы статистического анализа флуктуирующей асимметрии // Принципы экологии. – 2012. – № 3. – С. 24–47.
12. Зорина А.А., Коросов А.В. Характеристика флуктуирующей асимметрии листа двух видов берез в Карелии // Экология. Экспериментальная генетика и физиология: тр. Карельского научного центра РАН. – Петрозаводск, 2007. – Вып. 11. – С. 28–36.
13. Маслов С.Г., Трофимов А.Б., Арбузов С.И. Исследование распределения минеральных примесей в окисленных бурых углях Итатского месторождения // Изв. Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 316. – № 3. – С. 49–53.

Literatura

1. *Shmatko S.I.* Perspektivy razvitiya toplivno-jenergeticheskogo kompleksa Rossii [Elektron. resurs] // Infrastruktura Rossii: feder. sprav. 2012. – T. 1. – S. 27–40. URL: <http://federalbook.ru/files/Infrastruktura/Soderjaniye//Shmatko.pdf> (data obrashheniya: 26.05.2017).
2. *Dobycha uglja* [Elektron. resurs] // Oficial'nyj sayt Ministerstva jenergetiki Rossijskoj Federacii. – M., 2008–2017. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/435> (data obrashheniya: 26.05.2017).
3. *Krasnojarskij kraevoj statisticheskij ezhegodnik*, 2016: Stat.sb. [Elektronnyj resurs] // Krasnojarskstat. – Krasnojarsk, 2016. – 498 s. URL <http://krasstat.gks.ru/> (data obrashheniya: 26.05.2017)
4. *Kuzbass v cifrah: stat. sprav.* [Elektron. resurs]. – Kemerovo, 2017. – URL: <http://kemerovostat.gks.ru/> (data obrashheniya: 26.05.2017).
5. *Astaurov B.L.* Issledovanie nasledstvennyh narushenij razvitiya bilateral'noj simmetrii v svyazi s izmenchivost'ju odinakovyh struktur v predelah organizma // *Nasledstvennost' i razvitie*. – M.: Nauka, 1974. – S. 54–109.
6. *Polonskij V.I., Poljakova V.S.* Siren' vengerskaja – perspektivnyj bioindikator dlja sravnitel'noj ocenki stepeni zagryaznenija gorodskoj sredy // *Vestn. KrasGAU*. – 2014. – № 2. – S. 89–92.
7. *Nizkij S.E., Sergeeva A.A.* Fluktuirujushhaja asimmetrija list'ev berezy ploskolistnoj (*Betula platyphylla* sukacz.) kak kriterij kachestva okruzhajushhej sredy // *Vestn. KrasGAU*. – 2015. – № 7. – S. 14–17.
8. *Korotchenko I.S.* Bioindikacija zagryaznenija rajonov g. Krasnojarska po velichine fluktuirujushhej asimmetrii listovoj plastinki vjaza prizemistogo // *Vestn. KrasGAU*. – 2015. – № 11. – S. 67–72.
9. *Zdorov'e sredy: metodika ocenki* / *Zaharov V.M., Baranov A.S., Borisov V.I.* [i dr.]. – M.: Centr jekologicheskoy politiki Rossii, 2000. – 66 s.
10. Metodicheskie rekomendacii po vypolneniju ocenki kachestva sredy na sostojanie zhivyh sushhestv (ocenka stabil'nosti razvitiya zhivyh organizmov po urovnju asimmetrii morfologicheskikh struktur): rasporyazhenie Rosjekologii ot 16.10.2003 № 460-R. – M., 2003. – 24 s.
11. *Zorina A.A.* Metody statisticheskogo analiza fluktuirujushhej asimmetrii // *Principy jekologii*. – 2012. – № 3. – S. 24–47.
12. *Zorina A.A., Korosov A.V.* Harakteristika fluktuirujushhej asimmetrii lista dvuh vidov berez v Karelii // *Jekologija. Jeksperimental'naja genetika i fiziologija: tr. Karel'skogo nauchnogo centra RAN*. – Petrozavodsk, 2007. – Vyp. 11. – S. 28–36.
13. *Maslov S.G., Trofimov A.B., Arbuzov S.I.* Issledovanie raspredelenija mineral'nyh primesej v okslennyh buryh ugljah Itatskogo mestorozhdenija // *Izv. Tomskogo politehnicheskogo universiteta*. – 2010. – T. 316. – № 3. – S. 49–53.