

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩЕГО ФАКЕЛА АЧИНСКОГО НПЗ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЛИСТЬЕВ БЕРЕЗЫ И ОСИНЫ

Гурова Н.Н.¹, Дигурова И.И.², Гусев С.Д.³

¹ Сибирский федеральный университет

пр. Свободный, 79/10, г. Красноярск, 660041, РФ; e-mail: nina-guro@mail.ru

² Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова
ул. Островитянова, 1, г. Москва, 117997, РФ; e-mail: digurova56@mail.ru

³ Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого
ул. Партизана Железняка, 1, г. Красноярск, 660022, РФ; e-mail: sdg53@rambler.ru

Поступила в редакцию: 03.10.2019

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы оценки влияния постоянно действующего факела по сжиганию попутных газов на Ачинском нефтеперерабатывающем заводе (АНПЗ) на близлежащее смешанное осиново-березовое насаждение с помощью альтернативных математических методов. Анализу были подвергнуты результаты измерения морфологических параметров (периметра и площади листовой пластины, а также фрактального параметра — отношения периметра к корню квадратному от площади) листы двух основных лесообразующих пород, березы и осины, в насаждении, расположенном в 500 м от объекта. Объективный анализ экспериментальных данных подразумевает не только их обычную статистическую обработку, но и применение методов, направленных на возможное обнаружение скрытой информации. В совокупности это обеспечивает надежную интерпретацию, особенно в крупных массивах данных. Оценка результатов с помощью кластерного анализа и критерия Краскела-Уоллиса позволила предположить наличие реакции на продолжительное стрессовое воздействие, возможно, направленной на оптимизацию морфометрических параметров листьев березы.

Ключевые слова: Ачинский НПЗ, факел сжигания попутных газов, осиново-березовое насаждение, морфометрия листьев.

Влияние техногенных факторов привлекает настойчивое внимание специалистов. Действие различных раздражителей может приводить к сходным ответным реакциям организмов, прежде всего, ослаблению, замедлению и приостановке роста, нарушению симметрии строения [1]. Можно предположить, что общность реакций организмов на различные по химическим и физическим свойствам загрязнители и другие антропогенные и природные стрессовые нагрузки является характерной приспособительной чертой биоты вообще [2]. Следует, однако, отметить, что недостаточно исследовано влияние веществ при многолетнем, одноместном и часто длительно однотонном действии факелов по сжиганию попутных газов. Доступно очень мало информации, касающейся последствий их воздействия на окружающую среду. В частности, влияние факелов, действующих на обрабатывающих предприятиях, на морфологические параметры березы и осины в естественных насаждениях умеренной зоны, примыкающих к промышленным центрам, практически не изучено. Временами в целом поднимается вопрос о целесообразности биоиндикации загрязнения атмосферы урбосистем с помощью высших растений [3]. Важно также отметить, что, по-видимому, из-за традиционного использования берез как широко распространенных, неприхотливых и легко выращиваемых лиственных пород в городском и пригородном озеленении наиболее значительное число работ посвящено влиянию промышленных выбросов именно на березу. Даже тополя затрагиваются в меньшей степени. Тем более это касается «лесного тополя», осины (*Populus tremula* L.). Известно, что осина весьма требовательна к эколого-почвенным условиям, а потому очень редко используется для озеленения. Например, в работе с богатым литературным анализом, посвященной этой породе, из рассмотренного 51 источника лишь одна публикация оказалась связана с осиной [4]. Между тем эта порода часто является спутницей березы в естественных и вторичных насаждениях умеренной зоны, примыкающих к промышленным центрам.

Авторы, работавшие у невысоких факелов, сжигающих попутные газы при нефтедобыче, обращают внимание на их тепловой эффект, в том числе и в летние периоды [5]. Указывается, что в непосредственной близости от факела образуется полностью выгоревшая площадь, лишенная растительности. В наших условиях, при наличии высокого, 50-метрового факельного устройства, ничего подобного не происходит: прямо под факелом буйно развивалась растительность.

Ачинский нефтеперерабатывающий завод (АНПЗ) произвел первую продукцию в 1982 г. Он является одним из крупнейших предприятий отрасли в Сибири, на территории которого постоянно функционируют три факела. Для снижения нагрузки на окружающую среду на предприятии внедрены новые технологии, произведена модернизация оборудования, осуществляется контроль над повышением экологической безопасности.

На широте 57°, севернее Красноярска, проходит северная граница зоны так называемых травяных лесов с островами лесостепи. Исследования проводились у одного из действующих факелов для сжигания сопутствующих газов АНПЗ (Большеулуйский район Красноярского края, 56°28' с. ш., 90°34' в. д.). Высота дымовой трубы (ствола) факела составляет 50 м.

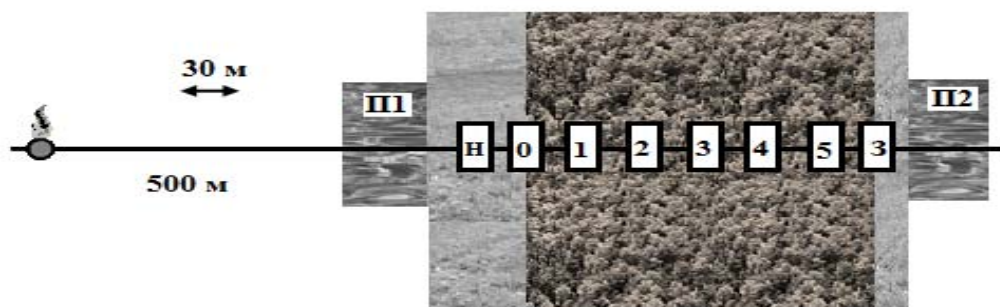


Рисунок 1. Трансекта, пересекающая колос. П1 – пруд-отстойник; Н – опушка наветренная; 0, 1, 2, 3, 4, 5 – пробные площади; 3 – опушка заветренная; П2 – пруд-шламоприемник

В качестве исследуемого объекта выбрано расположенное в 500 м от факела колкообразное смешанное насаждение, составленное березой повислой, *Betula pendula* Roth., и осинкой, *Populus tremula* L., с примесью ивы козьей, *Salix caprea* L. Насаждение находилось в вытянутом понижении 200-300 м шириной, расположенном между прудом-отстойником и прудом-шламоприемником с расстоянием до прудов не менее 150 м.

Исследование основных морфометрических показателей листы березы и осины проводилось в августе вдоль трансекты, пересекающей колос (рис. 1) со стороны, ориентированной на факел в направлении преобладающих с его стороны ветров. Начиная с отдельно стоящих деревьев перед стеной леса, на каждом 30-метровом отрезке отбиралось по одной ветви с выбранных случайным образом берез или осин, не менее чем по 25 листьев на ветвь. В результате образцы собраны в 8 точках трансекты и в точке удаленного контроля (13,5 км от факела). Общее количество исследованных образцов – 2000. При обработке материала в качестве основных признаков использовались периметр и площадь листовой пластины, а также такой фрактальный показатель, как отношение периметра к корню квадратному из площади. Периметр и площадь листьев определялись с помощью Программы для анализа изображений Digimizer. V 3.7.1.

При выполнении анализа с помощью стандартных методов описательной статистики результаты исследований на проложенной трансекте показали, что средние значения периметра и площади листьев березы в зоне предполагаемого загрязнения, а также рассчитанный на их основе фрактальный показатель (отношение периметра к корню квадратному из площади) статистически мало различимы от наветренной (подфакельной) к подветренной (защищенной) опушкам. А главное, не обнаружено различий при сравнении рассматриваемых параметров с фоновыми показателями (рис. 2). Сходные данные получены другими авторами при изучении воздействия различных факторов загрязнений. Так, например, указано, что у березы площадь и масса листьев существенно не меняются при негативном воздействии урбаноосреды [6]. При исследовании листы осины также отмечено отсутствие статистически значимых изменений средних значений изучаемых параметров вдоль трансекты (рис. 3).

Эти факты заставили предполагать либо отсутствие серьезной техногенной нагрузки, либо проявление как хорошо изученной устойчивости березы, так и слабо изученной к настоящему времени устойчивости осины к загрязнению. Однако наличие вредных воздействий в нашем случае подтверждается высокой численностью скрытоживущей группы филлофагов в подфакельной зоне по сравнению с фоновым березовым колком [7]. Это согласуется с данными литературы о том, что по мере приближения к источнику выбросов роль этой группы насекомых возрастает [8, 9]. В отношении осины таких различий отмечено не было.

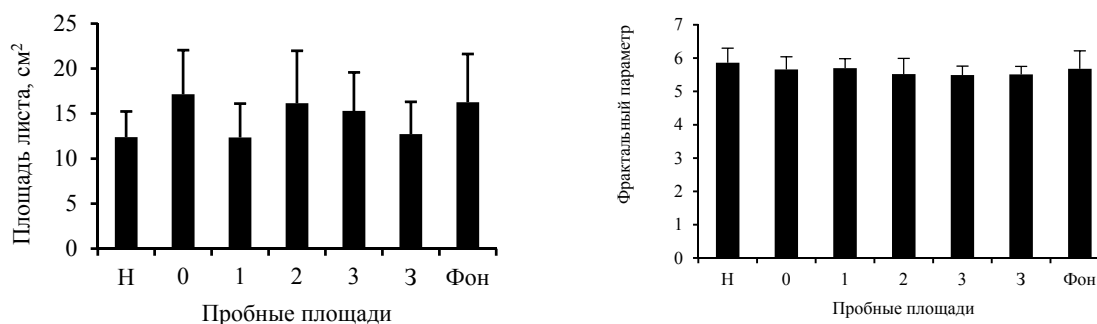


Рисунок 2. Изменение средней площади листьев березы и фрактального параметра вдоль трансекты от отдельно стоящих деревьев на Опушке Н до защищенной Опушки 3 по сравнению с Фоном (13,5 км от факела)

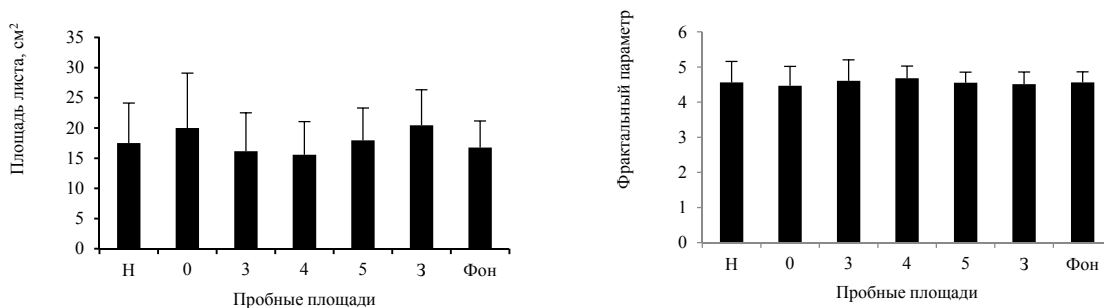


Рисунок 3. Изменение средней площади листьев осины и фрактального параметра вдоль трансекты от отдельно стоящих деревьев на Опушке Н до защищенной Опушки З по сравнению с Фоном (13,5 км от факела)

С целью возможного выявления скрытой информации об изменениях морфологических параметров листьев для обработки экспериментальных данных были применены альтернативные математические методы. В современных биологических исследованиях широко используется кластерный анализ, относящийся к data mining и дающий возможность классифицировать элементы совокупности [10, 11]. Полученные нами результаты проанализированы с помощью иерархического дивизимного метода (Divisive Analysis), позволяющего получить последовательность расщепляющих групп. Для сравнения трех или более выборок использовался непараметрический критерий Краскела-Уоллиса [12], проверяющий нулевые гипотезы, согласно которым различные выборки были взяты из одного и того же распределения или из распределений с одинаковыми медианами.

Экспресс-оценка результатов с помощью диаграмм Box-and-Whisker-Plot, компактно изображающих распределение вероятностей и характеризующих плотность группировки данных, показала следующее. На разных экотонах: опушках леса, ближней (500 м от факела) (n = 249) и дальней по отношению к источнику загрязнения (n = 138), имеют место изменения производных морфологических показателей листовых пластин березы по сравнению с данными, полученными в точке удаленного контроля (фон). С наветренной стороны интерквартильный размах значений периметра листа был сужен в 1,7 раза, а его площади – в 2,2 раза по сравнению с фоновыми значениями (рис. 4, 5). Это может быть расценено как адаптационное изменение в ответ на продолжительное действие техногенного фактора. Для осины изменение интерквартильных диапазонов не было выраженным. Возможно, это является проявлением различий в степени устойчивости березы и осины к данному неблагоприятному воздействию.

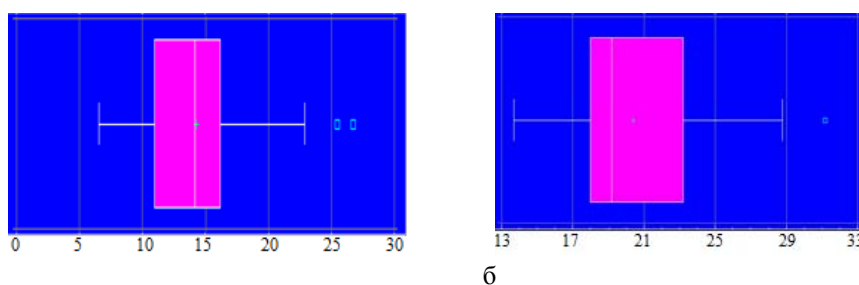


Рисунок 4. Диаграммы Box-and-Whisker-Plot. Площадь (а) и периметр (б) листовой пластины на удаленном фоне

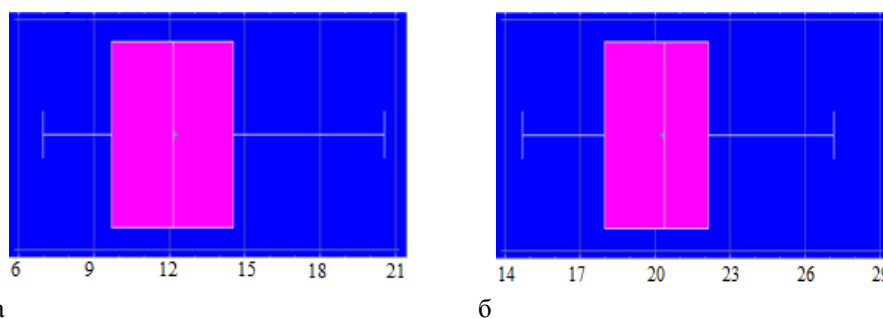


Рисунок 5. Диаграммы Box-and-Whisker-Plot. Площадь (а) и периметр (б) листовой пластины на опушке с наветренной стороны

Таблица 1. Результаты кластерного анализа площади листовой пластины березы

Кластеры	Наветренная опушка		Подветренная опушка		Фон	
	Площадь, см ²	% листьев	Площадь, см ²	% листьев	Площадь, см ²	% листьев
1	10,10	49	10,79	68	13,08	68
2	14,50	51	16,83	32	21,79	32
1	9,49	33	8,70	24	12,07	38
2	12,63	44	12,14	48	16,28	43
3	16,13	23	17,09	28	25,18	19
1	9,44	33	7,33	22	12,29	34
2	12,26	29	7,65	32	13,44	26
3	13,96	23	14,69	19	18,70	26
4	16,52	15	24,37	27	26,22	14
1	7,89	28	8,9	19	10,15	17
2	7,99	18	10,08	24	14,1	21
3	13,79	19	14,18	25	14,72	30
4	16,16	23	14,55	27	20,06	20
5	18,92	12	21,77	5	27,03	12

С помощью критерия Краскела-Уоллиса была отклонена нулевая гипотеза о том, что значения периметра и площади листовой пластины березы для исследуемых площадок взяты из одного и того же распределения. Таким образом, использование данного непараметрического критерия выявило различия изучаемых параметров на участках трансекты, удаленных на разное расстояние от факела. При проведении кластеризации решение о числе кластеров принималось на основании визуальной оценки данных и личного опыта. При разбиении на 3, 4 и 5 кластеров значения площади листа ниже контрольной (фоновой) медианы имели с наветренной стороны 85-100 % листьев березы, с подветренной – от 72 до 95% (табл. 1). При разбиении данных на 3 кластера на фоновом участке наибольшее число объектов (43%) относилось к кластеру со средним значением площади листовой пластины 16,28 см², в то время как с наветренной стороны 44% листьев относились к кластеру со средним значением 12,63 см². Это согласуется с данными литературы об уменьшении исследуемых показателей в ответ на загрязнение окружающей среды [13]. Периметр ниже фоновой медианы имели 85% листьев на ближней к факелу опушке.

Полученные результаты можно расценить как реакцию на продолжительное стрессовое воздействие, которая, возможно, направлена на оптимизацию морфологических параметров листа березы.

Список литературы / References:

1. Иванецкий Г.Р. *Выражи закономерностей*. М.: Наука, 2011, 327 с. [Ivanitskii G.R. *Turns patterns*. М.: Nauka, 2011, 327 p. (In Russ.)]
2. Бутовский Р.О. *Устойчивость комплексов почвообитающих членистоногих к антропогенным воздействиям*. М.: Изд-во День серебра, 2001, 322 с. [Butovskii R.O. *Resistance of complexes of soil-dwelling arthropods to anthropogenic influences*. М.: Izd-vo Den serebra, 2001, 322 p. (In Russ.)]
3. Коробова Н.Л., Коробова А.Н. К вопросу о целесообразности биоиндикации загрязнения атмосферы урбосистем с помощью высших растений. *Естествознание и гуманизм*, 2007, т. 4, № 4, с. 70-71. [Korobova N.L., Korobova A.N. To the question of expediency of bioindication of air pollution of urban systems by means of higher plants. *Estestvoznaniye i gumanizm*, 2007, vol. 4, no. 4, pp. 70-71. (In Russ.)]
4. Бельская Е.А., Воробейчик В.Л. Реакция филофагов осины на выбросы Среднеуральского медеплавильного завода. *Экология*, 2013, № 2. с. 99-109. [Belskaia E.A., Vorobeichik V.L. The reaction of phyllophagous aspen to emissions from the middle Ural copper smelter. *Ekologiya*, 2013, no. 2, pp. 99-109. (In Russ.)]
5. Шавнин С.А., Юсупов И.А., Артемьева Е.П., Голиков Д.Ю. Влияние повышения температуры среды на формирование наземной растительности вблизи газового факела. *ИВУЗ. Лесной журн*, 2006, № 1, с. 21-28. [Shavnin S.A., Iusupov I.A., Artemeva E.P., Golikov D.Iu. Influence of environment temperature increase on ground vegetation formation near gas flare. *IVUZ. Lesnoi zhurn*, 2006, no. 1, pp. 21-28. (In Russ.)]
6. Бухарина И.Л. Эколого-биологические особенности адаптации древесных растений в условиях усиленной техногенной нагрузки. *Принципы и способы сохранения биоразнообразия. Матер. IV Всерос. науч. конф.* Йошкар-Ола: Изд-во Мар. гос. ун-та, 2010, с. 4-7. [Bukharina I.L. Ecological and biological features of adaptation of woody plants in conditions of increased anthropogenic load. *Principles and methods of biodiversity conservation. Mater. IV Vseros. nauch. konf.* Ioshkar-Ola: Izd-vo Mar. gos. un-ta, 2010, pp. 4-7. (In Russ.)]
7. Гурова Н.Н., Гуров А.В. Изменение параметров листовой пластинки березы и активность филофагов в зоне воздействия Ачинского НПЗ. *Лесные биогеоценозы бореальной зоны: география, структура, функции, динамика. Матер. междунар. конференции*. Красноярск, Россия, 16-19 сентября 2014, с. 319-321. [Gurova N.N., Gurov A.V. The change in the parameters of the leaf blade of birch and the activity of phyllophagous in the zone of influence of Achinsk refinery. *Forest biogeocenoses of the boreal zone: geography, structure, functions, dynamics. Mater. Mezhdunar. konf.* Krasnoyarsk, Russia, 16-19 sent. 2014, pp. 319-321. (In Russ.)]

8. Kozlov M.V., Zvereva E.L., Zverev V.E. *Impacts of point pollutants on terrestrial biota*. Berlin etc.: Springer, 2009, 466 p.
9. Zvereva E.L., Kozlov M.V. Responses of terrestrial arthropods to air pollution: a meta-analysis. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2010, vol. 17, pp. 297-311.
10. Акопов А.С., Московцев А.А., Доленко С.А., Савина Г.Д. Кластерный анализ в медико-биологических исследованиях. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*, 2013, т. 57, № 3, с. 84-96. [Akopov A.S., Moskovtsev A.A., Dolenko S.A., Savina G.D. Cluster analysis in biomedical research. *Patologicheskaiia fiziologiya i eksperimentalnaia terapiia*, 2013, vol. 57, no. 3, pp. 84-96. (In Russ.)]
11. Дигурова И.И., Шипов А.А. Оценка гемореологических нарушений при экспериментальном стрессе у крыс с помощью кластерного анализа. *Вестник КрасГАУ*, 2011, № 7, с. 132-137. [Digurova I.I., Shipov A.A. Evaluation of hemorheological disorders in experimental stress in rats using cluster analysis. *Vestnik KrasGAU*, 2011, no. 7, pp. 132-137. (In Russ.)]
12. Кобзарь А.И. *Прикладная математическая статистика*. М.: Физматлит, 2006, с. 466-468. [Kobzar A.I. *Applied mathematical statistics*. М.: Fizmatlit, 2006, pp. 466-468. (In Russ.)]
13. Хузина Г.Р. Влияние урбаноcреды на морфометрические показатели листа березы повислой (*Betula pendula* Roth.). *Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о Земле*, 2010, № 3, с. 53-57. [Khuzina G.R. Influence of urban environment on morphometric parameters of birch leaf (*Betula pendula* Roth). *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologiya. Nauki o Zemle*, 2010, no. 3, pp. 53-57. (In Russ.)]

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF A CONSTANTLY ACTING TORCH OF THE ACHINSK REFINERY ON MORPHOLOGICAL PARAMETERS OF BIRCH AND ASPEN LEAVES

Gurova N.N.¹, Digurova I.I.², Gusev S.D.³

¹ Siberian Federal University

Svobodnyj av., 79/10, Krasnoyarsk, 660041, Russia; e-mail: nina-guro@mail.ru

² Pirogov Russian National Research Medical University

Ostrovitianov str., 1, Moscow, 117997, Russia; e-mail: digurova56@mail.ru

³ Krasnoyarsk state medical University named after Professor V.F. Voino-Yasenetsky
Partizan Zheleznyak str., 1, Krasnoyarsk, 660022, Russia; e-mail: sdg53@rambler.ru

Abstract. This article considers an approach based on the use of alternative mathematical methods to estimate the influence of the permanent gas-burning torch of the Achinsk oil refinery (AOR) on the nearby mixed aspen-birch forest. The perimeter and area of the leaf plate, as well as the fractal ratio of the first to the square root of the second, were investigated for the birch and aspen foliage located at a distance of 500 m from the torch. To provide reliable and valuable interpretations for the large data sets, our analysis employs not only their usual statistical processing but also special procedures aimed at a possible detection of hidden information. In particular results of cluster analysis and that based on the use of the Kruskal-Wallis criterion suggested that there is a response to the prolonged stress exposure, possibly aimed at optimizing of the morphometric parameters.

Key words: *Achinsk refinery, torch for burning of passing gases, birch/aspen forest, morphometry of birch leaves.*