

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИТОИНДИКАЦИИ В ОЦЕНКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ Г. КЕМЕРОВО СЕРО- И АЗОТСОДЕРЖАЩИМИ ПРИМЕСЯМИ

Неверова О.А.¹, Быков А.А.²

¹ФГБУН Институт экологии человека СО РАН, Кемерово, e-mail: nev11@yandex.ru

²ФГБУН Институт вычислительных технологий СО РАН, Кемеровский филиал, Кемерово

В работе изучена аккумулирующая способность листьев и хвои древесных растений в отношении серо- и азотсодержащих примесей в зоне преобладающего влияния промышленных выбросов г. Кемерово; полученные данные сопоставлены с модельными расчетами загрязнения приземного слоя атмосферы серо- и азотсодержащими примесями и химическими анализами снеговых проб на исследуемых площадках наблюдений (ПН). Результаты содержания общей серы в листьях и хвое исследуемых растений показали их высокую сходимость у березы с загрязнением снега сульфатами на ПН1-ПН5 ($r=0,47$, при $n=54$, $p<0,05$). Исключение составляет наиболее удаленная ПН6, где минимальным значениям содержания общей серы в растительных образцах соответствуют максимальные значения содержания сульфатов в снеге, что может быть связано с работой в зимний период стационарных котельных и печей частного сектора на прилегающей к ПН6 территории. Кривые значений содержания нитратов в снеге и показателя загрязнения атмосферы азотсодержащими примесями на исследуемых ПН имеют достаточно выраженную сходимость. Анализ данных фитомониторинга показал высокую согласованность результатов по содержанию общего азота в хвое ели сибирской с показателем загрязнения атмосферы азотсодержащими примесями ($r=0,47$ при $n=54$, $p<0,05$) и содержанием нитратов в снеге ($r=0,60$ при $n=54$, $p<0,05$). Данные фитомониторинга и анализы снеговых проб позволяют детализировать информацию о характере загрязнения атмосферного воздуха и делают более объективными экологические прогнозы.

Ключевые слова: фитоиндикация, промышленное загрязнение, моделирование загрязнения атмосферы, химические анализы снега.

THE USE OF PHYTOINDICATION IN THE ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL POLLUTION BY SULFUR AND NITROGEN-CONTAINING IMPURITIES IN KEMEROVO REGION

Neverova O.A.¹, Bukov A.A.²

¹Institute of Human Ecology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Kemerovo, e-mail: nev11@yandex.ru

²Institute of computing technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Kemerovo branch

The accumulating ability of leaves and needles of woody plant leaves and needles in regard to sulfur- and nitrogen-containing impurities in zone and of prevailing influence of industrial emissions is studied in this work; the obtained data were compared with the model calculations of the surface atmosphere layer pollution by sulfur- and nitrogen-containing impurities and chemical analyses of snow tests on the investigation platforms of observation (PO). The results of general sulfur content in leaves and needles of studied plants showed their high convergence with birch-tree show pollution by sulfates on PO 1-PO 5 ($r=0,47$, at $n=54$, $p < 0,05$). The exception is the more distant PO 6, where the minimal values of general sulfur content in plants samples correspond to maximal values of sulfates content in snow that can be connected with winter work of stationary boilers and rocket mass heaters of private houses at neigh bouring of the PO 6 territory. The curves of nitrates containing values in snow and index of atmosphere pollution by nitrogen-containing impurities on the investigating PO have rather expressed convergence. The analysis of phytimonitoring data showed high correspondence of the results by content of general nitrogen in needles of Siberian spruce with index of atmosphere pollution by nitrogen-containing impurities ($r=0,47$ at $n=54$, $p < 0,05$) and nitrates-containing in snow. The phytomonitoring data and snow tests analyses allow to itemize the information about the character of air pollution and do the ecological prognosis more reliable.

Keywords: phytoindication, industrial pollution, model-based analysis of atmosphere pollution, chemical analyses of snow.

Интенсивное развитие промышленности в городах приводит к загрязнению окружающей среды. Мощным источником загрязнения атмосферного воздуха г. Кемерово

является промзона, включающая Кемеровскую ГРЭС, КОО «Химпром», ОАО «Кокс». Промзона расположена на границе Центрального и Заводского районов города в непосредственной близости к жилым кварталам. Приоритетными выбросами данных промышленных объектов являются оксиды азота, диоксид серы, оксид углерода, полиароматические углеводороды, в том числе бенз(а)пирен и взвешенные вещества.

В связи с вышесказанным, необходим биомониторинг загрязнения окружающей среды г. Кемерово для оценки риска нагрузки на окружающие природные объекты, в частности растения и составления долговременных экологических прогнозов.

Традиционно изучение техногенного воздействия на растения осуществляется с применением химических методов, позволяющих оценить накопление токсических соединений в тканях. До настоящего времени этот подход доминирует в промышленной экологии и является единственным официально принятым, поскольку соответствие содержания в окружающей среде различных компонентов промышленных отходов законодательно установленным нормативам определяется химическим путем. Вместе с тем, далеко не всегда применение химических методов дает адекватное представление о реальном состоянии природной среды, особенно в зонах слабого и умеренного загрязнения. Это обусловлено высокой дифференцированностью различных организмов по устойчивости к различным типам промышленного загрязнения, с одной стороны, и нелинейным характером зависимости биологических эффектов от дозы загрязняющих соединений в условиях комплексного загрязнения с одновременным действием экстремальных метеорологических условий – с другой.

В связи с этим в последние годы все более популярными становятся методы биологической индикации, которые имеют явное преимущество по сравнению с химическими методами, поскольку с их помощью оценивается прямой отклик природного объекта на изменение качества внешней среды [3, 6, 9].

Наряду с существующими, гигиеническими ПДК загрязняющих веществ использование фитоиндикаторов в оценке качества окружающей среды повышает надежность экологических прогнозов.

Цель и методика исследований

Цель исследований - оценка загрязнения серо- и азотсодержащими выбросами атмосферы г. Кемерово в зоне доминирующего влияния выбросов промзоны по данным фитомониторинга.

Для этих целей изучена аккумулярующая способность листьев и хвои древесных растений в отношении серо- и азотсодержащих примесей в зоне преобладающего влияния промышленных выбросов; полученные данные сопоставлены с модельными расчетами

загрязнения приземного слоя атмосферы серо- и азотсодержащими примесями и химическими анализами снеговых проб на исследуемых площадках наблюдений. Для исследований выбраны 6 площадок наблюдения (ПН), расположенных под факелом распространения атмосферного загрязнения от промзоны при преобладающем направлении ветра (рис.1).

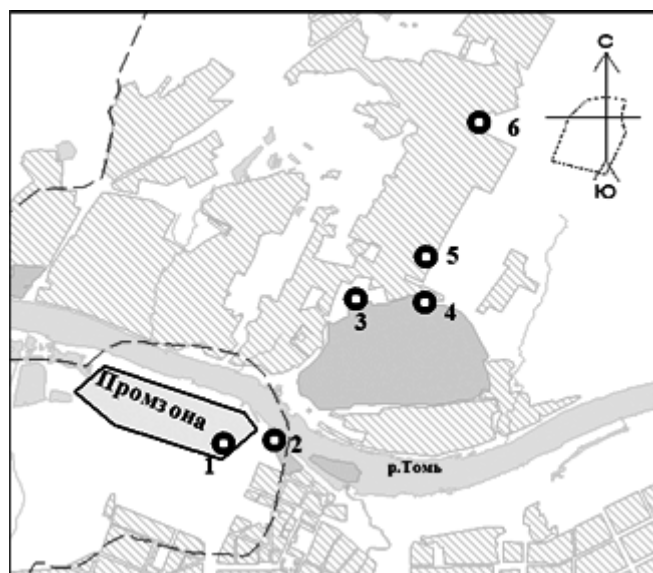
Для оценки среднего за длительный период загрязнения атмосферы г. Кемерово использован специальный модуль программного комплекса ЭРА, который согласован ФГБУ ГГО им. А.И. Воейкова (С-Петербург, Россия) на соответствие краткосрочной модели [7] и долгосрочной модели [4]. Комплекс ЭРА может быть применен для нормативных расчетов загрязнения атмосферы (подробнее см. www.logos-plus.ru) и позволяет использовать стандартные нормативные базы данных, накопленные в форматах программного комплекса ЭРА, отработанный интерфейс и все текстовые и графические возможности по представлению результатов (включая построение на цифровых и растровых картах). Для линейных и площадных источников используется процедура интегрирования с шагом, зависящим от удаления точки от источника, а шаг выбирается из условия не превышения вычислительной погрешности уровня 3%.

Основное соотношение для вычисления средней за длительный период концентрации C в точки с полярными координатами (r, φ) относительно источника имеет следующий общий вид:

$$C(r, \varphi) = \frac{p_1(\varphi)M}{r} \int_0^{\infty} du \int_0^{\infty} d\lambda p_2(u) p_3(\lambda) q(r, u, \varphi, \lambda, H_e), \quad (1)$$

где M (г/сек) средний за период осреднения выброс источника, а расшифровка обозначений и формулы для подынтегральной функции q и эффективной высоты источника H_e представлены в [4].

В состав выражения (1) входят три функции, представляющие плотности распределения: направление ветра $p_1(\varphi)$; скорость ветра $p_2(u)$; безразмерный параметр λ интенсивности турбулентного перемешивания $p_3(\lambda)$. Для нормативных расчетов эти распределения, определяющие режим долговременного загрязнения атмосферы в окрестности источника, запрашиваются вместе с остальными необходимыми параметрами в ФГБУ ГГО им. А. И. Воейкова. Функция $p_1(\varphi)$ получается из стандартной 8-и румбовой розы ветров путем интерполяции, вид которой определен в [4]. В настоящих исследованиях функции $p_1(\varphi)$ и $p_2(u)$ построены по данным стандартных метеорологических наблюдений для г. Кемерово за период с 2009 по 2013 год. Архив метеорологических данных взят с сайта www.rp5.ru.



- Обозначения .ПН: 1 – сквер у проходной ГРЭС (ул. Станционная, 17)
 2 – парк им. Горького (вблизи спорткомплекса)
 3 – территория станции Юннатов (пр.Шахтеров 10)
 4 – территория санатория «Журавлик» (ул. Терешковой 7)
 5 – сквер им. Шахтеров (между пр.Шахтеров и ул. Институтской)
 6 – двор сельской больницы (ул. Авроры, 12)

Расстояние от ПН 1 по прямой линии составляет: до 2 ПН – 1 км, до 3 – 3 км, до 4 – 4 км, до 5 – 4,5 км, до 6 – 6,5 км.

Рис. 1. Схема расположения пробных площадок в плане города Кемерово

В процессе моделирования рассчитывался условный безразмерный комплексный показатель загрязнения атмосферы (КПЗА) серо- и азотсодержащими выбросами $KПЗА = C_1 / ПДК_{с1} + C_2 / ПДК_{с2} + \dots + C_n / ПДК_{сn}$,

где C – среднегодовая приземная концентрация, $ПДК_{с}$ – среднесуточная ПДК, а индексы 1, 2, 3, ..., n относятся к загрязняющим веществам: серной кислоте, диоксиду серы, сере элементарной, сероводороду, сероуглероду в одном случае и диоксиду азота, азотной кислоте, аммиаку, оксиду азота, нитрату аммония в другом случае. Расчеты выполнены на основании данных инвентаризации, взятых из материалов сводного тома ПДВ г. Кемерово [1].

Данный показатель не является нормативным гигиеническим критерием, поскольку далеко не все учтенные вещества обладают эффектом однонаправленного воздействия на человека. Он носит смысл “суммарной техногенной нагрузки”, создаваемой промышленностью посредством атмосферного переноса загрязнения на ту или иную территорию города.

Состав анионов (сульфатов и нитратов) в снеговых пробах выполнен Коковкиным В.В. (Институт неорганической химии СО РАН).

В качестве объектов фитоиндикационных исследований выбраны 3 древесные породы, представленные в насаждениях исследуемых площадок наблюдений – ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), береза повислая (*Betula pendula* Roth.) и рябина сибирская (*Sorbus*

sibirica Hedl.) средневозрастного генеративного состояния (g^2) [8]. В сухих растительных образцах (листьях и хвое) собранных в начале августа определяли содержание общей серы спектрофотометрическим методом [5] и общего азота – методом Кьельдаля, модифицированным З.В. Чмелевой и С.Л. Тютеревым [2].

Результаты исследований и их обсуждение

Экспериментальные данные показывают, что на исследуемых ПН ель накапливает минимальное количество серы в сравнении с другими породами. Содержание общей серы в сухих образцах хвои колеблется в пределах 0,59-1,07 мг/г. Максимальная вариабельность в содержании общей серы обнаружена в сухих листьях рябины на исследуемых ПН и лежит в пределах 0,14 – 1,34 мг/г, у березы содержание общей серы колеблется в пределах 0,99-1,37 мг/г (рис.2).

Выявлено, что содержание общей серы в хвое ели, листьях березы и рябины по мере удаления от промзоны носит нелинейный характер. В целом следует отметить, что значения содержания общей серы в хвое ели и листьях березы и рябины, произрастающей на наиболее удаленной площадке наблюдения (ПН6, расстояние от источника выброса 6,5 км) меньше в сравнении с ПН1, расположенной в непосредственной близости от промзоны. Но у деревьев, произрастающих на промежуточных площадках наблюдения данная зависимость отсутствует и значения данного показателя в большинстве случаев превосходят содержание общей серы растений с ПН1 (рис. 2).

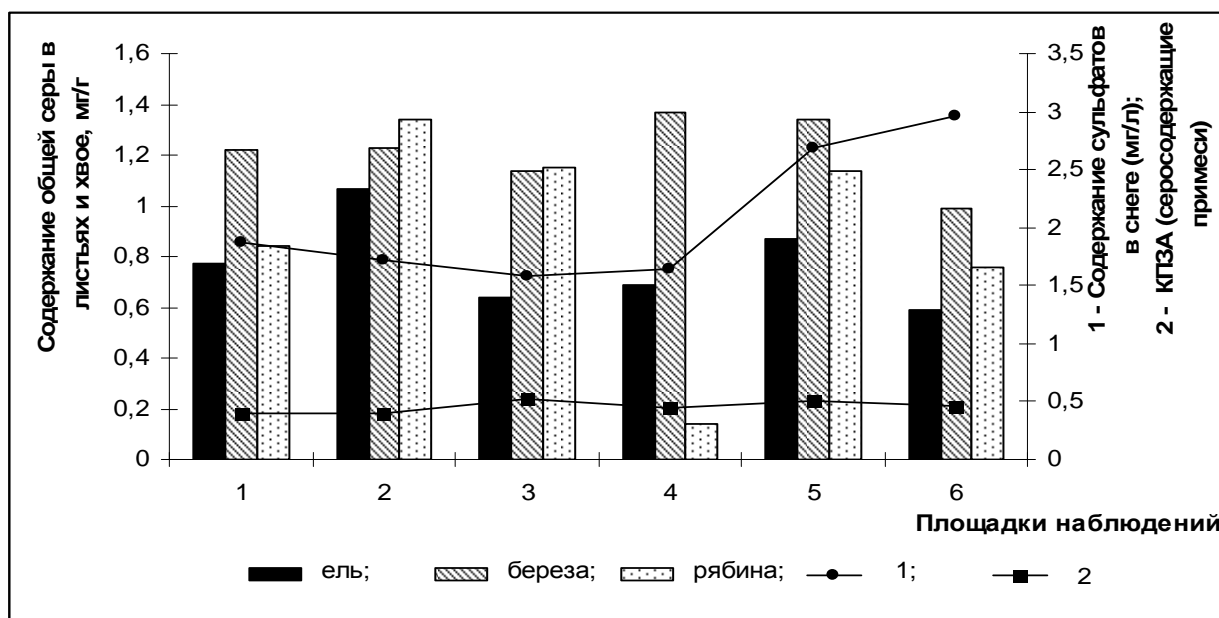


Рис. 2. Показатели содержания общей серы в растительных образцах, сульфатов в снеге и КПЗА серосодержащими примесями

Что касается общего азота, то в большинстве случаев его значения в листьях и хвое исследуемых растений на ПН1 ниже, а по мере удаления от источника выбросов содержание общего азота в сухих растительных образцах возрастает (рис.3).

Кривые значений содержания нитратов в снеге и КПЗА азотсодержащими примесями на исследуемых ПН имеют достаточно выраженную сходимость. Анализ данных фитомониторинга позволил установить высокую согласованность результатов по содержанию общего азота в хвое ели сибирской с КПЗА азотсодержащими примесями ($r=0,47$ при $n=54$, $p<0,05$) и содержанием нитратов в снеге ($r=0,60$ при $n=54$, $p<0,05$) (рис. 3).

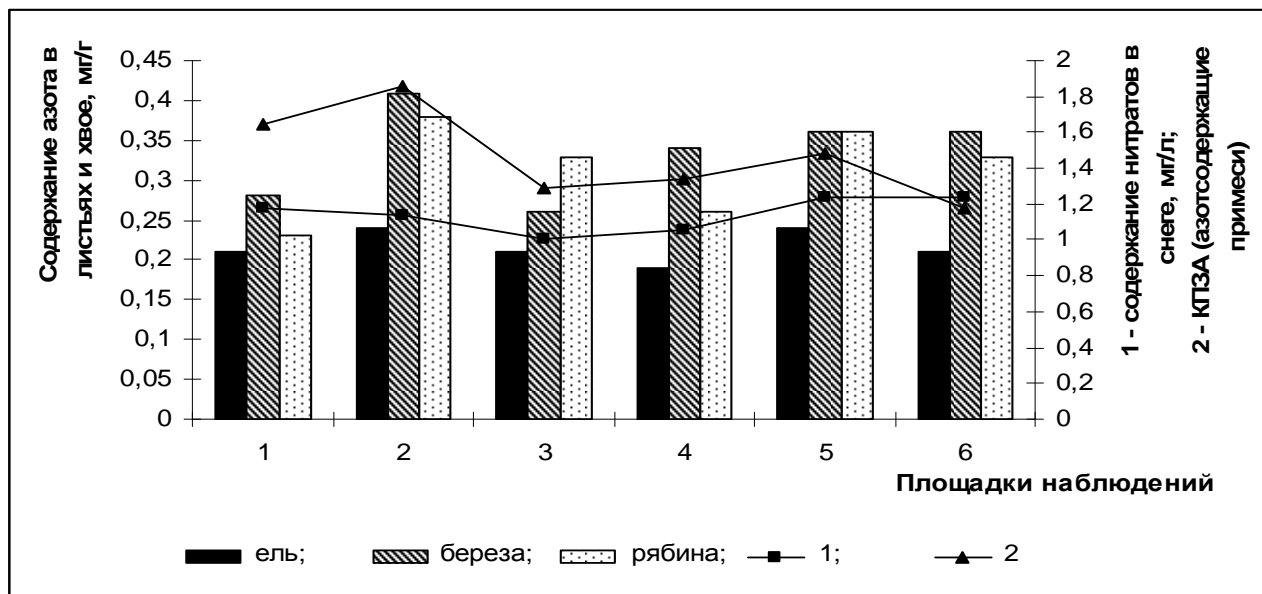


Рис. 3. Показатели содержания общего азота в растительных образцах, нитратов в снеге и КПЗА азотсодержащими примесями

Полученные данные свидетельствуют о возрастании загрязнения окружающей среды азотсодержащими выбросами по мере удаления от промзоны, хотя эта зависимость носит нелинейный характер. Установленный факт, очевидно, связан с вкладом дополнительных источников в загрязнение атмосферы данной примесью, в частности автотранспорта и печного отопления сектора индивидуальной застройки, преобладающей в северной части территории, приведенной на рисунке 1.

Сопоставление полученных нами данных по содержанию общей серы в растительных образцах с расчетным показателем загрязнения атмосферы (КПЗА) серосодержащими примесями показало, что не наблюдается четкой связи между ними. Расчетные значения КПЗА серосодержащими примесями существенно не отличаются на исследуемых ПН и варьируют без определенной тенденции в пределах 0,39-0,52, тогда как содержание общей серы в растительных образцах в большинстве случаев выше на ПН 2, 4 и 5. Результаты содержания общей серы в листьях и хвое исследуемых растений показали их высокую сходимость у березы с загрязнением снега сульфатами на ПН1-ПН5 ($r=0,47$, при $n=54$,

$p < 0,05$). Исключение составляет ПНб, где минимальным значениям содержания общей серы в растительных образцах соответствуют максимальные значения содержания сульфатов в снеге (рис. 2). Высокая концентрация сульфатов в снеге на ПНб может быть связана с работой в зимний период стационарных котельных и печей частного сектора на прилегающей территории, загрязняющих атмосферу серосодержащими примесями.

Заключение

Проведенные исследования показали, что расчетные методы загрязнения атмосферы азот- и серосодержащими примесями не всегда отражают истинный характер распространения этих примесей в атмосфере по факелу. В частности существенное влияние на характер распространения серосодержащих примесей в зимний период влияют дополнительные источники загрязнения – отопительные печи частного сектора и мини-котельные. Экспериментальные методы исследования объектов окружающей среды – снега, листьев и хвои древесных растений позволяют детализировать информацию о характере загрязнения атмосферного воздуха и делают более объективными экологические прогнозы.

Список литературы

1. Ажиганич Т.Е., Алексейченко Т.Г., Быков А.А. и др. Проведение сводных расчетов загрязнения атмосферы г. Кемерово для нормирования выбросов и диагностических оценок. В кн. “Экология города. Проблемы. Решения” – труды V городской научно-практической конференции. – Кемерово, 2003. С. 41-45.
2. Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина Л.М. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание. Учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1975. - 391 с.
3. Жиров В.К., Голубева Е.И., Говорова А.Ф., Хаитбаева А.Х. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Крайнем Севере. – М.:Наука, 2007. – 166с.
4. Методика расчета осредненных за длительный период концентраций выбрасываемых в атмосферу вредных веществ (Дополнение к ОНД-86). –С-Пб.: ГГО им.А.И. Воейкова. 2003. - 15с.
5. Мочалова А.Д. Спектрофотометрический метод определения серы в растениях / Сельское хозяйство за рубежом. – 1975. №4. – 17 с.
6. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости.- Новосибирск: Наука, 1979.- 280с.

7. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Л.: Гидрометеоиздат, 1987.- 92 с.
8. Смирнова О.В., Чистякова А.А., Попатюк Р.В. и др. Популяционная организация растительного покрова лесных территорий (на примере широколиственных лесов Европейской части России). Пушино, 1990. – 92 с.
9. Цандекова О.Л., Седельникова Л.Л. Содержание общей серы в листьях некоторых травянистых многолетников в условиях г. Новосибирска. Ученые записки Забайкальского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2014. № 1 (54). С. 59-64.

Рецензенты:

Блинова С.В., д.б.н., профессор кафедры зоологии и экологии ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный Университет», г. Кемерово;

Манаков Ю.А., д.б.н., заведующий лабораторией промышленной ботаники ФГБУН Институт экологии человека СО РАН, г. Кемерово.