

УДК 504.5:574.2

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ Г. САРАТОВА ПО ДАННЫМ ХИМИЧЕСКОГО И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Быкова М.А., Абросимова О.В., Тихомирова Е.И., Макарова А.А.

Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, Саратов, e-mail: ecology@sstu.ru

Проведен анализ экологического состояния окружающей среды в г. Саратове на основе загрязнения снегового покрова химическими и биологическими контаминантами. Оценена токсичность талых вод по отношению к биологическими тест-объектам: *Chlorella vulgaris* Beijer, *Daphnia magna* Straus, *Lemna minor* L. Высокие уровни загрязнения химическими контаминантами характерны и для площадок, расположенных вблизи мощных промышленных предприятий, и для центральных районов города, в которых последние отсутствуют. На всей территории города зафиксирован повышенный уровень минерализации снегового покрова. Эффект подщелачивания отмечен в снеговом покрове вблизи промышленных зон предприятий. Численность микроорганизмов в снеговом покрове г. Саратова во много раз превышает фоновые значения. Среди микромицетов преобладают темноокрашенные формы. Максимальное количество микроорганизмов находится в верхнем слое снегового покрова. По отношению к биологическим тест-объектам показана высокая токсичность снегового покрова города.

Ключевые слова: экологический мониторинг, снеговой покров, химическое и микробиологическое загрязнение, биотестирование

INTEGRATED ASSESSMENT OF THE STATE OF THE ENVIRONMENT IN THE CITY OF SARATOV BASED ON CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL CONTAMINATION

Bykova M.A., Abrosimova O.V., Tikhomirova E.I., Makarova A.A.

Saratov State Technical University n.a. Y.A. Gagarin, Saratov, e-mail: ecology@sstu.ru

We conducted an analysis of the state of the environment in the city of Saratov based on chemical and biological contamination of the snow cover. We assessed toxicity of the melting snow runoff using the following biological test-subjects: *Chlorella vulgaris* Beijer, *Daphnia magna* Straus, and *Lemna minor* L. Although central parts of the city lack significant industrial impact, we found same high levels of chemical pollution there just as in the areas near large industrial enterprises. An increased mineralization of the snow cover was typical throughout the city whereas alkalization of the snow cover was detected mostly near industrial zones. Abundance of microorganisms in the snow cover in Saratov significantly exceeds the control values values. Micromycetes were dominated by dark-colored forms. Maximum densities of microorganisms were observed in the top layer of snow cover. Snow cover in the city was found to be highly toxic for all biological test-subjects.

Keywords: environmental monitoring, snow cover, chemical and microbiological pollution, bioassay

Промышленные зоны городов являются мощными источниками техногенных веществ, которые формируют городские потоки и внедряются в пригородные и региональные потоки. Интенсивная техногенная нагрузка в крупных городах обусловлена чрезмерной концентрацией промышленных производств, быстрым ростом численности транспортных средств, низким уровнем внедрения энергосберегающих и малоотходных технологий и рядом других экономических и социальных причин, негативно влияющих не только на городскую среду, но и на здоровье населения. Экологическая опасность загрязнения окружающей среды крупных промышленных городов и мегаполисов мира стала одной из актуальных проблем современности. Для оценки экологического состояния городов необходимо определение уровня и особенности распространения загрязняющих веществ во всех компонентах городского ландшафта (атмосферном воз-

духе, снеге, почвах, растениях, животных, водах), а также накопления этих веществ в организме людей [6].

Город Саратов является крупным развитым промышленным центром с высоким уровнем техногенного воздействия на окружающую среду. В Саратове сосредоточены предприятия химии, нефтехимии, нефтепереработки, стройиндустрии, машиностроения, энергетики, имеющие федеральное значение. Мозаичная картина размещения разных функциональных зон создает в городе комплексный характер загрязнений. Сложный ландшафтный узор города, наличие мощных и часто повторяющихся инверсий обуславливают низкий потенциал самоочищения атмосферы.

Целью данной работы является оценка экологического состояния окружающей среды на основе микробиологического и химического состава снегового покрова территории г. Саратова, определения токсичности талой воды методами биотестирования.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись пробы снегового покрова, отобранные на территории г. Саратова в феврале-марте 2010–2011 гг. в Заводском, Волжском и Фрунзенском районах со строгой картографической привязкой к местности (рис. 1). Были выбраны территории с разной степенью антропогенной нагрузки (территории вблизи промышленных предприятий, вдоль железных дорог, автомагистралей, социальных объектов, парка культуры и отдыха и т.д.). В качестве фоновой территории выбрана условно чистая пригородная зона в районе летнего оздоровительного лагеря «Ударник», находящегося в лесопарковой зоне.

Для микробиологического анализа пробы снега собирали по общепринятой методике в стерильную посуду. Посевы осуществляли в день отбора образцов по 0,1 мл талой воды поверхностным способом на

твердые питательные среды. Для выделения и количественного учета гетеротрофных микроорганизмов использовали ГРМ-агар, а для выделения микромицетов – среду Сабуро. Учет численности микроорганизмов производили на 3–7-е сутки и выражали в колониеобразующих единицах (КОЕ) в 1 мл талой воды [7]. Отбор проб для химико-аналитического исследования и биотестирования осуществляли методом конверта при помощи весового снегомера ВС-43. В талой снеговой воде определяли содержание тяжелых металлов (Cu, Fe, Zn, Ni, Cd, Pb, Co) методом пламенной атомно-абсорбционной спектrophотометрии в соответствии с ПНД Ф 14.1.2.214-06. Исследование выполняли на атомно-абсорбционном спектrophотометре марки WFX-120. Для оценки накопления тяжелых металлов и уровня их содержания использовали геохимические показатели: коэффициент концентрации (K_c) и суммарный показатель загрязнения (Z_c) в соответствии с МУ 2.1.7.730–99.



Рис. 1. Места отбора снеговых проб на территории г. Саратова

Макрокомпонентный состав (содержание хлорид-, сульфат- и нитрит-ионов) и водородный потенциал талой снеговой воды определяли в соответствии с руководством «Унифицированные методы анализа воды» [5]. Биотестирование снеговых проб осуществляли с помощью тест-объектов, принадлежащих к разным систематическим группам: *Chlorella vulgaris* Beijer, *Daphnia magna* Straus, *Lemna minor* L. по стандартным методикам [1, 2, 3]. Для получения сопоставимых результатов по итогам биотестирования рассчитывали индекс токсичности оцениваемого фактора (ИТФ) [4]. Обработку полученных данных проводили по общепринятым методикам с использованием t-критерия Стьюдента. Также использовали приложение Exel, Word из пакета Microsoft Office 2007, Statistica 6.0.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследование снегового покрова на содержание тяжелых металлов, а именно меди, железа, цинка, никеля, кадмия, свинца, кобальта проводилось по всей толщ

снегового покрова. В пробах снегового покрова, отобранных на выбранной пригородной фоновой территории, содержание меди составило 0,01 мг/дм³, железа – 0,02 мг/дм³, цинка – 0,02 мг/дм³, никеля, кадмия, свинца и кобальта обнаружено не было. В среднем для снега, отобранного в пределах г. Саратова, характерно повышение концентраций тяжелых металлов по сравнению с фоновой территорией. Во всех отобранных пробах на территории г. Саратова кобальта обнаружено не было. Превышения тяжелых металлов относительно фоновой территории составляют: Cu (0,7–1,6), Fe (0,5–2), Zn (0,5–2,5), Ni (38–150), Cd (1–10), Pb (1–2). Максимальные превышения характерны для никеля. Уровень загрязнения на всей территории города выше фоновых. Карта на распределения загрязнения по никелю носит монотонный характер с выделением локальных пятен с высоким уровнем за-

загрязнения. Характер загрязнения по свинцу и кадмию имеет ярко выраженный пятнистый рисунок. Максимальные концентрации Cd и Pb обнаружены в Заводском районе. В целом для меди и железа характерно наличие нескольких ядер повышенного загрязнения в центре города с превышением в 160 раз. Сложный орнамент зафиксирован в распределении уровня загрязнения по цинку. С одной стороны, содержание цинка практически во всех пробах снега, собранных на территории города, было выше контроля. Исключением являются многочисленные площадки, расположенные в зонах отдыха города. По суммарному показателю загрязнения территории города тяжелыми металлами в снеговом покрове лидируют площадки в Детском парке и на Театральной площади. Вероятнее всего, это обусловлено эффектом «острова тепла» и формированием специфической циркуляции воздуха в городах. Многократные выбросы оксидов в воздушный бассейн обусловили необходимость исследования снеговой (талой) воды на показатель pH, содержание хлорид-, сульфат- и нитрит-ионов. Значения pH в пробах талого снега изменялись в диапазоне слабокислых и умеренно-щелочных значений от 5,6 до 7,2 единиц. Значение pH снежного покрова условно чистой зоны составило 6,1 единиц. Эффект подщелачивания (pH = 7,19–7,20) отмечен в пробах талых вод, отобранных вблизи Саратовского авиационного завода, на территории Детского парка. Содержание анионов в снеговом покрове фоновой территории составило: Cl⁻ – 8,1 мг/л, SO₄²⁻ – 5,14 мг/л, NO₂⁻ – 0,03 мг/л. Концентрация хлоридов в исследуемых пробах снега изменялась в пределах от 3,55 до 68,16 мг/л. Максимальное превышение контрольных значений составило 8,5 раза, и было зафиксиро-

вано в пробах, собранных вблизи крупных автомагистралей. Концентрация сульфатов в исследуемых пробах составила от 2,8 до 95 мг/л. Максимальные значения обнаружены в пробах, собранных в районе набережной города и вблизи автомагистралей. Нитриты в исследуемых пробах измерялись в диапазоне от 0,4 до 2 мг/л. Наибольшие концентрации нитритов зарегистрированы в пробах, отобранных в Заводском районе города. Максимальные значения содержания всех исследуемых анионов зафиксированы в пробах, отобранных на территории Заводского района.

Оценку численности гетеротрофных микроорганизмов и микромицетов в снеговом покрове г. Саратова осуществляли по всей глубине снегового покрова. Количество гетеротрофных микроорганизмов в снеговом покрове фоновой территории составило 1210 КОЕ/мл, микромицетов – 125 КОЕ/мл. При сравнительном количественном анализе гетеротрофных микроорганизмов (рис. 2) наибольшее число КОЕ зафиксировано в пробах, собранных вблизи промышленных зон предприятий в Заводском районе, на территории Детского парка и Театральной площади г. Саратова. Интересен характер распространения микроорганизмов по глубине снежного покрова: практически во всех отобранных пробах максимальные значения были зафиксированы в верхних слоях снегостава. Превышение по отношению к фону в верхнем 10-сантиметровом слое снега составило в Детском парке и на Театральной площади в 12 раз, в промзоне Заводского района в 9 раз. Следует отметить, что в этих же точках зафиксированы максимальные значения по всей глубине снегостава. Во всех пробах доминировали бактерии рода *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Enterococcus*.

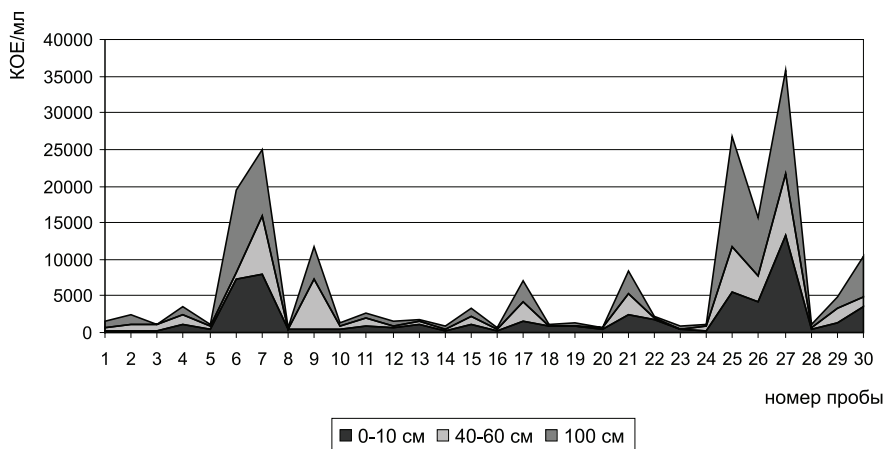


Рис. 2 Содержание микроорганизмов по глубине в снеговых пробах

Анализ содержания микромицетов выявил сходное с гетеротрофными микроорганизмами распределение обилия по глубине снегового покрова, их количество варьировалось в интервале от 50 до 7000 КОЕ/мл, что было ниже показателей, полученных для бактерий. Наибольшая степень микологического загрязнения – превышение составило в 55 раз – установлена на тех же территориях, что и для гетеротрофных микроорганизмов. Во всех пробах доминировали дрожжеподобные грибы, в том числе рода *Candida*. В промышленных районах и вблизи крупных автомагистралей преобладали микромицеты с темным цветом пигмента, что можно объяснить их резистентностью к ультрафиолетовому излучению и тяжелым металлам.

Следующим этапом работы стало проведение биотестирования с целью определения токсичности снеговых проб. По результатам биотестирования снеговых проб с помощью термофильного штамма одноклеточной зеленой водоросли *C. vulgaris* была установлена гипертоксичность проб, собранных в Заводском районе г. Саратова, в частности вблизи Авиационного завода, а также некоторых проб, отобранных в центре города вблизи автомобильных дорог. Токсичными оказались пробы снегового по-

крова, отобранные на Набережной Космонавтов. Нетоксичными и слаботоксичными были пробы, отобранные в пешеходных зонах улиц и в жилой зоне города. При оценке токсичности проб снега при помощи тест-объекта *L. minor* практически во всех исследуемых пробах были отмечены морфологические отклонения биотеста уже на вторые сутки: окраска листецов менялась до светло-зеленой, желтой и белой. Зеленый цвет листецов сохранился в пробах, собранных в жилых зонах Заводского района. В этих же пробах было зафиксировано удвоение листецов.

При исследовании проб снегового покрова с помощью тест-объекта *D. magna* Straus установлено, что все пробы оказывали неблагоприятное или губительное действие на организм: снижение численности или гибель тест-объекта. Для получения сопоставимых результатов по итогам биотестирования определили ИТФ, данные представлены на рис. 3. Все пробы, собранные на территории города, оказывали острое токсичное воздействие на тест-организмы. По итогам тестирования, самой неблагоприятной оказалась территория вблизи промышленной зоны Саратовского авиационного завода (наблюдалась гибель всех тест-объектов).

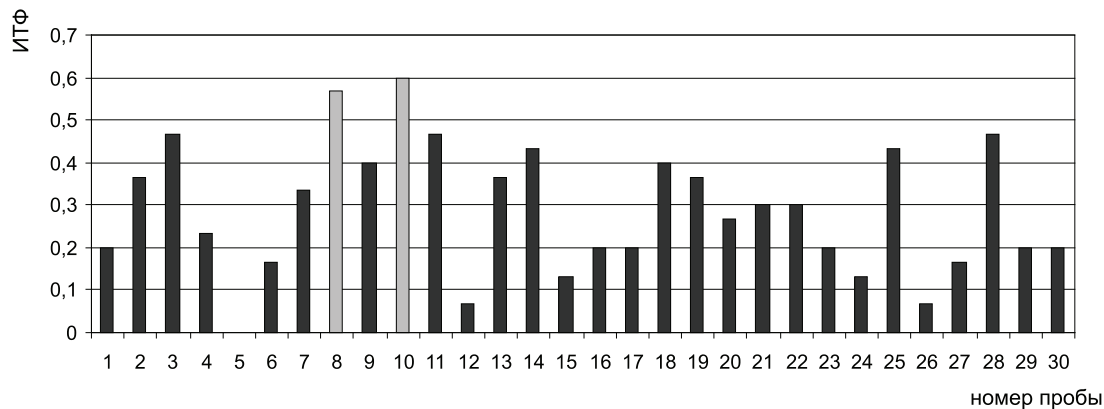


Рис. 3. Значения ИТФ проб снега, собранных на территории г. Саратова (менее 0,5 – высокая токсичность; 0,5–0,7 – средняя токсичность)

Заключение

Проведенные нами исследования показали, что для территории г. Саратова характерно не только химическое, но и микробиологическое загрязнение. Рисунок распределения химических контаминантов в городе очень сложный, что обусловлено как архитектурно-планировочной композицией города, так и орографическими условиями, особенностями параметров источников выбросов и т.п. Высокие уровни загрязнения характерны и для площадок, расположенных вблизи мощных промыш-

ленных предприятий, и для центральных районов города, в которых последние отсутствуют. На всей территории города зафиксирован повышенный уровень минерализации снегового покрова. Участки с высоким уровнем минерализации линейно вытянуты и приурочены к мощным транспортным магистралям. Изменение химического состава снеговой воды приводит к увеличению токсичности проб снега по отношению к биологическим тест-объектам. Снеговая вода оказалась токсичной для всех групп тест-объектов.

Одновременное присутствие в снеге целого ряда тяжелых металлов, изменение кислотности талой воды, увеличение минерализации снеговой воды способствовали изменению микробных сообществ по разнообразию и численности. Максимальное количество микроорганизмов находится в верхнем слое снегового покрова. Среди микромицетов преобладают темноокрашенные виды. Проведенный нами комплексный анализ состояния воздушной среды в городе, по данным снеговых съемок, показал высокий уровень изменения окружающей среды, что, несомненно, оказывает влияние как на здоровье населения г. Саратова, так и на качество воды р. Волги.

Список литературы

1. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учеб. пособие / О.П. Мелехова, Е.И. Сарапульцева, Т.И. Евсеева и др.; под ред. О.П. Мелеховой и Е.И. Сарапульцевой. – М.: Академия, 2008. – 288 с.
2. Григорьев Ю.С. Методика определения токсичности водных вытяжек из почв, осадков, сточных вод и отходов, питьевой, сточной и природной воды по смертности тест-объекта *Daphnia magna* Straus. – Красноярск: КрасГУ 2006. – 46 с.
3. Григорьев Ю.С. Методика определения токсичности проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почвы, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer). – Красноярск: КрасГУ 2004. – 19 с.
4. Кабиров Р.Р., Сагитова А.Р., Суханова Н.В. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // Экология. – 1997. – № 6. – С. 408–411.
5. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод. – М.: Химия, 1973. – 376 с.
6. Макаров В.З. Ландшафтно-экологический анализ крупного промышленного города / под ред. Ю.П. Селиверстова. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2001. – 176 с.
7. Практикум по микробиологии / А.И. Нетрусов, М.А. Егорова, Л.М. Захарчук и др.; под ред. А.И. Нетрусова. – М.: Академия, 2005. – 608 с.

References

1. *Biologicheskij kontrol' okruzhajuwej sredy: bioindikacija i biotestirovanie* [Manual on biological control of the environment: bioindication and bioassay] / O.P. Melekhova, E.I. Sarapul'ceva, T.I. Evseeva and other; edited by O.P. Melekhova, E.I. Sarapul'ceva, M., Akademia, 2008. 288 p.
2. Grigor'ev J.S. *Metodika opredelenija toksichnosti vodnyh vytjazhek iz pochv, osadkov, stochnyh vod i othodov, pitevoj, stochnoj i prirodnoj vody po smertnosti test-obekta Daphnia magna* Straus [Methods of assessment of toxicity of soil water, rainwater, sewage water, and drinking water based on mortality of the test subject, *Daphnia magna* Straus]. Krasnojarsk, KrasGU 2006. 46 p.
3. Grigor'ev J.S. *Metodika opredelenija toksichnosti prob poverhnostnyh presnyh, gruntovyh, pit'evyh, stochnyh vod, vodnyh vytjazhek iz pochvy, osadkov stochnyh vod i othodov po izmeneniju opticheskoj plotnosti kul'tury vodorosli hlorella (Chlorella vulgaris* Beijer) [Methods of assessment of toxicity of surface freshwater, groundwater, drinking water, sewage, soil water, and rainwater based on changes in optical density of *Chlorella* algae (*Chlorella vulgaris* Beijer)]. Krasnojarsk, KrasGU 2004. 19 p.
4. Kabirov P.P., Sagitova A.R., Sukhanova N.V. *The development and use of multi-component test system to assess the toxicity of soil cover of the urban area*. Ecology. 1997, no 6, pp. 408-411.
5. JJ Lurie, *Unificirovannye metody analiza vod* [Standardized methods of water analysis]. M.: Himija, 1973. 376 p.
6. Makarov V.Z. *Landshaftno-jekologicheskij analiz krupnogo promyshlennogo goroda* [An analysis of landscapes and ecological condition of a major industrial city] / edited by J.P. Seliverstov. Saratov, 2001. 176 p.
7. *Praktikum po mikrobiologii* [Workshop on microbiology] / A.I. Netrusov, M.A. Egorova, L.M. Zakharchuk and other edited by A.I. Netrusov, M.: Akademia, 2005. 608 p.

Рецензенты:

Сергеева И.В., д.б.н., профессор, зав. кафедрой ботаники и экологии Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова, г. Саратов;

Макаров В.З., д.г.н., профессор, зав. кафедрой физической географии и ландшафтной экологии, декан географического факультета НИУ СГУ им. Н.Г. Чернышевского, г. Саратов.

Работа поступила в редакцию 09.04.2012.