

Биолюминесцентная оценка токсичности аэрозоля жилых и офисных помещений

В.В. Заворуев^{1,2}, О.В. Заворуева^{2*}

¹Институт вычислительного моделирования СО РАН
660036, г. Красноярск, Академгородок, № 50, строение 44

²Сибирский федеральный университет
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82

Поступила в редакцию 26.01.2011 г.

Проведена оценка интегральной токсичности домашней, библиотечной и офисной пыли. Биолюминесцентное тестирование показало, что все проанализированные образцы являются токсичными. Более того, в соответствии с нормативной документацией кухонная копоть характеризуется как сильно токсичная.

Ключевые слова: домашняя и офисная пыль, токсичность, биолюминесцентный анализ; home and office dust, toxicity, bioluminescent analysis.

Измерение массовых концентраций сажевого и субмикронного аэрозоля в регионах с различной степенью антропогенной нагрузки позволило установить, что вблизи промышленных городов содержание сажи возрастает в несколько раз по сравнению с фоном [1, 2]. Количество взвешенных веществ в атмосфере многих промышленных городов превышает среднесуточную предельно допустимую концентрацию (ПДК) [3, 4], которая, согласно ГН 2.1.6.1338-03, составляет 0,15 мг/м³. Такое значение ПДК установлено для недифференцированной по составу пыли (аэрозоля), содержащейся в воздухе населенных пунктов. ПДК взвешенных веществ не распространяется на аэрозоли органических и неорганических соединений (металлов, их солей, пластмасс, биологических, лекарственных препаратов и др.), для которых устанавливаются соответствующие ПДК.

В федеральном классификационном каталоге отходов пыль (аэрозоль) в зависимости от природы ее происхождения подразделяется почти на 100 видов. При этом предельно допустимые концентрации определены только для 13 видов пыли (ГН 2.1.6.1338-03). Еще для 95 видов установлены ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) (ГН 2.1.6.230-07). В нормативных документах отсутствуют ПДК и ОБУВ для пыли жилых, библиотечных и офисных помещений. Запыленность воздушной среды в зданиях контролируют по ПДК для недифференцированных по составу взвешенных веществ.

Известно, что жители городов большую часть времени проводят в закрытых помещениях. Право-

мерно ли считать, что недифференцированная по составу домашняя, библиотечная и офисная пыль (аэрозоль) в концентрации 0,15 мг/м³ безопасна для здоровья человека?

Ответ на этот вопрос мы попытались получить, изучая токсичность водных экстрактов пыли с помощью биотестирования.

В последнее время для контроля загрязнения объектов окружающей среды все чаще используют биотесты на основе лиофилизированных светящихся бактерий [5–7]. Это связано с тем, что некоторые недостатки, которые присущи многим индикаторным организмам, в люминесцентных биотестах отсутствуют. Во-первых, устранена фазность биолюминесценции. Для приготовления биотестов используются светящиеся бактерии, взятые в экспоненциальной фазе роста биолюминесценции, что достигается с помощью специального режима культивирования [8]. Во-вторых, ввиду консервативных условий хранения и выращивания на средах контролируемого состава светящиеся бактерии не подвержены адаптационным изменениям [9, 10].

В основу определения интегральной токсичности пыли был положен биолюминесцентный анализ. Его суть состоит в том, что в качестве детектора используются тестовые системы, обладающие способностью излучать свет в результате протекания биохимической реакции (*in vivo* или *in vitro*). Поскольку тестовые системы (биосенсоры) реагируют на токсические соединения самой разнообразной химической природы, т.е. характеризуются широким спектром анализируемых веществ, они часто используются в первичном скрининге на токсичность.

Фирмой Microbics Operations of Beckman Instruments, Inc. (США) был разработан биосенсор (Microtox 5TM) на основе лиофилизированных морских светящихся бактерий *Photobacterium phosphoreum*. Микротокс широко применяется в экс-

* Валерий Владимирович Заворуев (valzav@icm.krasn.ru); Оксана Валерьевна Заворуева (oxana_zav@akadem.ru).

прессной токсикологии во многих странах. Реакция биосенсора сравнивалась с откликом других биологических систем. Показана высокая корреляция методов. При этом величина 50%-го тушения свечения коррелирует с величиной LD₅₀ для высших животных (LD₅₀ – средняя летальная доза токсического вещества, необходимая для того, чтобы вероятность гибели особей составила 50%) [11].

Однако имеются данные о том, что иногда биосенсор Microtox 5TM не позволяет выявить некоторые токсиканты, присутствие которых обнаруживается с помощью других биотестов [12]. В связи с этим мы стали выявлять наличие токсикантов с помощью не одного, а двух видов лиофилизированных светящихся бактерий [13–15]. Это обосновано тем, что биосенсор В-17 677F (штамм *Photobacterium phosphoreum*) чувствителен к одному спектру веществ, а биосенсор ЕСК (штамм *Escherichia coli* Z905) – к другому [6, 7, 14].

Для определения токсичности пыли были использованы биосенсоры В-17 677F и ЕСК. Каждый образец пыли анализировали троекратно.

Экстракцию токсинов из пыли проводили растворителем в соотношении весовых частей 1:1000 при комнатной температуре. В качестве растворителя использовали дистиллированную воду или 1%-й и 3%-й раствор хлористого натрия. Для экстракции использовали шейкер типа Sunflower 3D. Время экстракции составляло 10–15 мин.

Измерение интенсивности биолюминесценции проводили на анализаторе БЛМ 8730М.

Оценка действия анализируемых проб на биолюминесценцию бактерий проводилась по биолюминесцентному индексу (БИ), который определяли по формуле

$$БИ = (I_O / I_K) \cdot 100\%,$$

где I_O – интенсивность свечения биосенсора в экстракте пыли; I_K – интенсивность люминесценции биосенсора в растворе, который использовался для экстракции.

О токсичности анализируемой пробы судили по величине БИ. Проба считается токсичной, если исследуемый экстракт изменяет интенсивность свечения хотя бы одного биосенсора больше чем на 20% по сравнению с контролем [14, 16, 17]. Если же это изменение превышает 50%, то такая проба характеризуется как очень токсичная [17]. Таким образом, нетоксичной является такая пыль, которая имеет значения БИ, лежащие в пределах от 80 до 120%.

Вначале исследовалась на токсичность пыль, собранная в различных районах и разных местах домашних помещений Красноярска.

Следует заметить, что по официальным данным в 2009 г. Советский район является самым чистым в Красноярске. Если для всего города индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) равнялся 18,6, то для указанного выше района он был равен 13,5.

Анализ более 350 образцов пыли показал, что все водные экстракты вызывали отклонение величины БИ от нормы хотя бы одного из биосенсоров. Сильнее всего ингибировали биолюминесценцию бактерий экстракты кухонной пыли, взятые из вентиляционных шахт жилых помещений (табл. 1).

При этом токсичность кухонной копоти не зависела от уровня загрязнения уличного воздуха.

Таблица 1

Минимальные и максимальные значения биолюминесцентных индексов образцов пыли зданий, расположенных в различных районах г. Красноярска

№ пробы	Место взятия пробы	БИ _Р , %	БИ _Е , %
1	Кухонная пыль, взятая из вентиляционной трубы. Свердловский район	6–29	4–23
2	То же. Советский район	11–25	16–37
3	То же. Октябрьский район	3–19	11–26
4	Пыль из корпуса телевизора. Советский район	29–48	43–65
5	То же. Октябрьский район	60–78	143–174
6	Пыль из системного блока компьютера. Советский район	78–102	60–77
7	Пыль со шкафа. Советский район	59–83	85–112
8	Пыль с гардины. Микрорайон Вязлетка	65–88	109–116
9	Пыль с корпуса монитора. Центральный район	92–110	134–160
10	Пыль коврового покрытия. Октябрьский район	178–202	132–158
11	То же. Кировский район	145–184	123–140

Примечание. Здесь и в табл. 2 и 3 аббревиатурой БИ_Р и БИ_Е обозначены биолюминесцентные индексы, определенные с помощью биосенсоров В-17 677F и ЕСК соответственно.

Пыль, собранная с ковровых покрытий полов, стимулировала интенсивность биолюминесценции биосенсоров почти на 200% (табл. 1, пробы № 10 и 11). Такая реакция светящихся бактерий может быть связана со спецификой состава пыли паласов и ковров, в которых присутствуют в значительном количестве биологические компоненты – домашние клещи, продукты их метаболизма, чешуйки кожи человека и т.п.

По результатам биотестирования домашней пыли был сделан вывод, что все проанализированные образцы являются токсичными и очень токсичными.

Ранее нами было установлено, что в офисных зданиях величина БИ пыли определяется экологическими условиями, которые складываются снаружи помещения. В очень загрязненных районах города (ИЗА > 24) образцы офисной пыли ингибировали люминесценцию биосенсоров сильнее, чем пыль офисов, расположенных в относительно экологически чистых районах [15]. Одним из основных источников загрязнения атмосферы городов является автотранспорт. Негативное влияние продуктов сгорания автомобильного топлива на биологические системы особенно сильно проявляется вблизи автомобильных дорог [18].

В связи с вышесказанным было проведено изучение токсичности пыли придорожного учреждения, находящегося в Советском районе. В табл. 2 представлены БИ пыли для офиса, расположенного на 1-м этаже здания, удаленного от центральной оси дороги с интенсивным автомобильным движением

(около 1000 машин в час) на 20 м. Видно, что все экстракты пыли ингибируют свечение одного или двух биосенсоров.

Таблица 2

Минимальные и максимальные значения биоломинесцентных индексов пылей офисного помещения, расположенного вблизи автомобильной дороги

№ пробы	Место взятия пробы	БИ _Р , %	БИ _Е , %
1	Межоконная пыль	11–24	10–29
2	Пыль из системного блока компьютера	52–65	33–48
3	Пыль со шкафа	40–58	43–65
4	Пыль с ламп дневного света	87–104	59–70
5	Пыль с радиатора отопления	79–91	67–84
6	Пыль, собранная под холодильником	46–68	53–76

Сравнение по величине БИ образцов пыли, взятых в жилых домах (см. табл. 1, пробы № 6 и 7), с образцами пыли, взятыми в придорожном офисе (см. табл. 2, пробы № 2 и 3), показывает более сильное ингибирование свечения биосенсоров экстрактами пыли исследованного офиса. Кроме того, величина БИ межоконной пыли офиса не превышала 30 (табл. 2, проба № 1) и, следовательно, она являлась очень токсичной. Эта токсичность обусловлена твердыми частицами, которые выбрасываются с отработанными газами двигателями автомобилей [18].

Всего было проанализировано почти 170 проб офисной пыли. Биотестирование показало, что все они могут быть охарактеризованы как токсичные или очень токсичные.

Известно, что на книгах, хранившихся на полках, накапливается много пыли. Попадание такой пыли в дыхательные пути вызывает насморк, кашель, аллергию и т.п. В связи с этим была изучена токсичность библиотечной пыли. Пыль собирали в библиотеках Октябрьского и Железнодорожного районов, которые относятся к сельтебным территориям Красноярска. Ниже приводится характеристика расположения библиотечных помещений, в которых отбирались пробы книжной пыли.

Проба № 1. Библиотека Института архитектуры и строительства СФУ расположена на первом этаже 3-этажного здания, которое находится вдали от автомобильных дорог с интенсивным движением. Рядом со зданием (20–50 м) находится автостоянка.

Проба № 2. Библиотека Института физики СО РАН расположена на втором этаже 3-этажного здания, которое находится вдали от автомобильных дорог с интенсивным движением.

Проба № 3. Библиотека Института вычислительного моделирования СО РАН расположена на пятом этаже 5-этажного здания, которое находится вблизи (15 м) от автомобильной дороги с интенсивным движением.

Проба № 4. Библиотека Института торговли расположена на четвертом этаже 5-этажного здания. Это здание построено в центре квартала, на параллельных сторонах которого находятся авто-

мобильные дороги с интенсивным движением. Расстояние до автотрасс около 150–200 м.

Оценка токсичности библиотечной пыли приведена в табл. 3.

Таблица 3

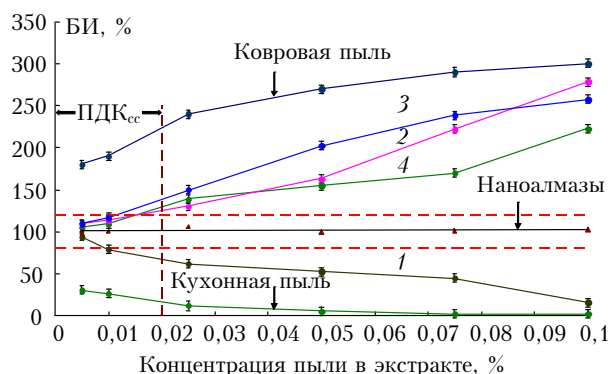
Биоломинесцентные индексы библиотечной пыли

№ пробы	БИ _Р , %	БИ _Е , %	Заключение о токсичности пыли
1	51,9±6,9	15,7±2,1	Токсичная по двум тестам
2	123,6±13,5	286,5±14,7	То же
3	90,7±12,9	254,4±13,9	Токсичная по одному тесту
4	92,3±6,4	225,8±11,9	То же

Водные экстракты пыли трех библиотек стимулировали интенсивность биоломинесценции биосенсора ЕСК. Эти библиотечные помещения находились вдали от автомагистралей и располагались выше первого этажа. Ингибирование свечения биосенсоров наблюдалось только в библиотеке, на первом этаже здания, вблизи которого была стоянка автотранспорта.

Из анализа результатов, представленных в табл. 3, следует, что все исследованные образцы библиотечной пыли оказались очень токсичными.

Теперь сопоставим между собой значение БИ и величину ПДК. Как уже упоминалось, в литературе принято считать, что среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК_{сс}) пыли составляет 0,15 мг/м³. Человек за сутки вдыхает в среднем 12–14 м³ воздуха. Из этого следует, что безвредное количество пыли, которое может человек вдохнуть за сутки, будет составлять 1,8–2,1 мг. По условиям методики определения токсичности водный экстракт из пыли делается при весовом соотношении пылевых частиц и экстрагирующего раствора 1:1000 (по прописи: 10 мг пыли и 10 мл раствора), что в концентрационном выражении составляет 0,1%. Следовательно, если по санитарным нормам безвредное количество пыли за сутки составляет около 2 мг, то для сопоставления токсичности по ПДК и по БИ мы должны определить БИ при концентрации пыли 0,02%. На рисунке вертикальной пунктирной линией обозначена такая граница.



Биоломинесцентные индексы, определенные с помощью биосенсора ЕСК, при различных концентрациях пыли в экстракте

Область, лежащая между горизонтальными пунктирными линиями (в соответствии с [17]), по-

казывает значения БИ, при которых экстракты нетоксичны. Видно, что водные экстракты библиотечной, ковровой и кухонной пыли при концентрации 0,02% не попадают диапазон БИ, равный 85–115. Это означает, что домашняя пыль при концентрациях 0,15 мг/м³ по результатам биолюминесцентного анализа является токсичной, в то время как по концентрационной оценке такое количество пыли считается нетоксичным.

Возникает вопрос, существуют ли частицы, нетоксичные для биолюминесцентных тестов?

Мы проанализировали водные экстракты фракции № 2 наноалмазов (НА), описанных в работе [19]. При концентрациях НА от 0,005 до 0,1% значения БИ водных экстрактов не выходили за пределы нормы (см. рисунок). Следовательно, наноалмазы, на поверхности которых не сорбированы посторонние вещества, являются нетоксичными для биолюминесценции. Эти же наноалмазы становятся токсичными, если на их поверхность сорбируются тяжелые металлы, такие как медь и цинк [20].

В заключение можно сказать, что по результатам биолюминесцентного тестирования вся пыль (аэрозоль), собранная в различных местах помещений, является как минимум токсичной. Причем пыль ковровых покрытий и кухонная копоть по величине БИ в соответствии с критериями, принятыми в федеративной методике ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04, являются сильно токсичными.

Таким образом, аэрозоль в воздухе домашних, офисных и библиотечных помещений в концентрации, равной 0,15 мг/м³, не может считаться безопасным для здоровья человека.

1. Козлов В.С., Панченко М.В., Яушева Е.П. Субмикронный аэрозоль и сажа приземного слоя в суточном ходе // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 7. С. 561–569.
2. Емиленко А.С., Копейкин В.М. Сравнение синхронных измерений концентрации сажи и субмикронного аэрозоля в регионах с различной степенью антропогенной нагрузки // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22, № 6. С. 535–540.
3. Бортников В.Ю., Букатый В.И., Рябинин И.В., Семенов Г.А. Микрофизические параметры и элементный состав атмосферного аэрозоля в г. Барнаул в 2006–2008 гг. // Изв. Алтайск. гос. ун-та. 2009. № 1. С. 106–110.
4. Назаров Б.И., Абдуллаев С.Ф., Маслов В.А., Абурасулова Н.А. Исследования функции распределения аэрозольных частиц и вариация сажевого аэрозоля в атмосфере // Докл. АН Республики Таджикистан. 2010. Т. 53, № 5. С. 358–363.
5. Bulich A.A., Isenberg D.Z. Use of the luminescent bacterial system for the rapid assessment of aquatic toxicity // Instr. Soc. Amer. Trans. 1981. V. 20, N 1. P. 29–33.
6. Кузнецов А.М., Родичева Э.К., Шилова Е.В. Биотест на основе лиофилизированных светящихся бактерий // Биотехнология. 1996. № 9. С. 57–61.
7. Kuznetsov A.M., Rodicheva E.K., Medvedeva S.E. Analysis of river water by bioluminescent biotests // Luminescence. 1999. V. 14, N 5. P. 263–265.
8. Заворуев В.В., Межевский В.В. Способ непрерывного культивирования светящихся бактерий *Photobacterium phosphoreum*: А.с. СССР. № 927853. Бюл. изобр. 1982. № 118 от 15.05.1982.
9. Кузнецов А.М., Заворуев В.В. Синтетическая среда для светящихся бактерий *Photobacterium mandapamensis* // Микробиология. 1980. Т. 49, вып. 6. С. 995–997.
10. Каталог культур светящихся бактерий / Под ред. Э.К. Родичевой. Новосибирск: Наука, 1997. 125 с.
11. Ганшин В.М., Чебышев А.В., Фесенко А.В. Комплексные системы мониторинга токсикологической и экологической безопасности // Спец. техника. 1998. № 4–5. С. 2–10.
12. Dalzell D.J., Alte S., Aspichueta E., de la Sota A., Etxebarria J., Gutierrez M., Hoffmann C.C., Sales D., Obst U., Christofi N. A comparison of five rapid direct toxicity assessment methods to determine toxicity of pollutants to activated sludge // Chemosphere. 2002. V. 47, N 5. P. 535–545.
13. Заворуев В.В., Кузнецов А.М. Экспрессные люминесцентные методы анализа экологического состояния водных экосистем // Исследования эколога-географических проблем природопользования для обеспечения территориальной организации и устойчивости развития нефтегазовых регионов России. Нижневартовск: Приобье, 2000. С. 205–209.
14. Заворуев В.В., Кузнецов А.М. Биотестирование водной среды при бурении газоразведочных скважин на акватории водоема / Природные ресурсы Забайкалья и проблемы природопользования. Чита: Изд-во ЧИПР СО РАН, 2001. С. 128–130.
15. Заворуева О.В., Котова К.В. Биоиндикация пыли помещений чистого и загрязненного районов Красноярска // Сб. материалов II Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука — третье тысячелетие». Красноярск: ИПК СФУ, 2006. С. 266–269.
16. Артемов А.В., Выговская Е.Ю., Жукова О.Е. Сравнительный анализ антропогенного загрязнения снежного покрова и гидросферы урбанизированных ландшафтов // Экология и промышленность России. 1999. № 4. С. 24–30.
17. Определение токсичности воды и водных экстрактов из объектов окружающей среды по интенсивности биолюминесценции бактерий (методические рекомендации). М., 1996. МР ГКСЭН РФ № 01-19/16-17.
18. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводов в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1993. 208 с.
19. Puzyr A.P., Bondar V.S., Bukayemsky A.A., Selyutin G.E., Kargin V.F. Physico-chemical properties of modified nanodiamonds // Syntheses, Properties and Applications of Ultrananocrystalline / NATO Science Series Volume (Ed. Dieter Gruen). Kluwer Academic Publishers B.V. 2005. P. 261–270.
20. Заворуева О.В. Исследование токсичности наноалмазов // Сб. материалов V Всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука — начало XXI века». Красноярск: ИПК СФУ, 2009. С. 199–203.

V.V. Zavoruev, O.V. Zavorueva. **Bioluminescent estimate of aerosol toxicity in home and office rooms.**

The estimation of integrated toxicity of house, library and office dust is investigated. Bioluminescent testing has shown, that all the analysed samples are toxic. Moreover, according to the normative documentation the kitchen soot is characterized as strongly toxic.