

Таблица 2 – Результаты изучения эмбриотоксического действия образцов отходов № 1–4 на кладках *Lymnaea stagnalis* (анализ усредненных из трех повторностей данных по тестированию отходов)

Концентрация отходов, мг/мл	Успешный выклев, %	Коэффициент вариации (CV), %	Угнетение выклева, %
Отходы стекловолокон грубые			
Контроль	91,99	2,55	–
500,0	64,31	4,73	30,09
Бой асбоцементных изделий			
Контроль	94,94	2,30	-
500,0	73,80	8,11	22,26
Отходы плит минераловатных			
Контроль	92,24	2,15	-
500,0	70,08	5,11	24,02
Бой кирпича силикатного			
Контроль	92,24	2,15	-
500,0	74,47	2,66	19,27

Вместе с тем, следует учитывать, что для гидробионтов биодоступными являются лишь водорастворимые вещества. Поэтому чувствительность кладок *Lymnaea stagnalis* как тест-системы, способной в значительной мере отражать характер отклика представителей водной биоты на присутствие загрязнителей (отходов производства и др.), обусловлена ранней стадией онтогенеза, проницаемостью оболочек капсулы, обеспечивающей высокую активность обменных процессов с модельной средой.

Таким образом, в связи с рядом физиологических и биохимических особенностей жизнедеятельности, присущих каждой отдельно взятой тест-системе, целесообразным является сочетание в батарее тест-объектов организмов, гармонично дополняющих друг друга в формировании наиболее полной картины отклика окружающей природной среды на воздействие отходов производства. В частности, в республиканском унитарном предприятии «Научно-практический центр гигиены» (Республика Беларусь) для оценки степени опасности отходов производства по показателю «экоотоксичность» наряду с *Lymnaea stagnalis* применяются также семена сельскохозяйственных культур, лабораторная культура простейших (*Tetrahymena pyriformis* W.) и лабораторная популяция дождевых червей (*Eisenia foetida*).

ЛИТЕРАТУРА

1. Haupt, M. Modular life cycle assessment of municipal solid waste management / M. Haupt, T.Kägi, S. Hellweg // Waste Manag. – 2018. – Vol. 79. – P. 815–827.
2. Jeswani, H. K., Azapagic, A. Assessing the environmental sustainability of energy recovery from municipal solid waste in the UK; Waste Manag / H. K. Jeswani, A. Azapagic. – 2016. – Vol. 50. – P. 346–363.
3. Коробко, В. И. Твердые бытовые отходы. Экономика. Экология. Предпринимательство : монография : научная специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством» / В. И. Коробко, В. А. Бычкова. – М. : ЮНИТИ : ЮНИТИ-ДАНА, 2012. – 131 с.
4. Борис, О. А. Оценка токсичности лигнина гидролизного для биообъектов окружающей природной среды / О. А. Борис, С. Ю. Петрова, Т. Н. Гомолко, М. В. Анисович // Химическая безопасность. – 2017. – № 1. – С. 216–225.
5. Метод экспериментального определения токсичности отходов производства : инструкция : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 07.04.2016, № 044-1215. – Введ. 20.06.2016. – Минск, 2015. – 56 с.

МЕТОДЫ БИОИНДИКАЦИИ КАК СПОСОБ ОЦЕНКИ И УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ РИСКАМИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫХ МАТЕРИАЛОВ (НА ПРИМЕРЕ ГАЛИТА) METHODS OF BIOINDICATION AS A TECHNIQUE FOR ASSESSING AND MANAGING ENVIRONMENTAL RISKS WHILE USING ANTI-ICE MATERIALS (HALITE AS AN EXAMPLE)

В. М. Василькевич, Р. В. Богданов, М. А. Атрошко
V. Vasilkevich, R. Bogdanov, M. Atroshko

Научно-практический центр гигиены, г. Минск, Республика Беларусь
sabas2004@mail.ru, atroshkomikhail@gmail.com
Scientific-practical center of hygiene, Minsk, Republic of Belarus

Приведены современные подходы к классификации, критерии выбора противогололедных материалов, основные преимущества и недостатки их применения. Отдельно рассмотрены методы биоиндикации, используемые для объективной оценки состояния среды обитания (почва, вода, воздух) и снижения неблагоприятного экологического влияния активного применения в зимний период противогололедных средств.

This publication represents modern approaches to the classification and criteria for the selection of anti-icing materials, describes the main advantages and disadvantages of their usage. Separately, bioindication methods used for objective assessment of the state of the environment (soil, water, air) and reducing the adverse environmental impact of active use of anti-icing agents in winter were reviewed.

Ключевые слова: соль, экология, мониторинг, гомеостаз.

Keywords: salt, ecology, monitoring, homeostasis.

В зимнее время для устранения гололеда и наледи на дорогах, тротуарах, лестницах, мостах и других конструкциях, на которых образуется наледь, активно используются противогололедные материалы (ПГМ).

ПГМ классифицируются по типу и механизму действия:

1) химические ПГМ, которые в своем составе содержат в концентрации более 95 % разных видов солей – хлориды, формиаты, ацетаты, карбамиды, нитраты. Данная группа ПГМ характеризуется хорошей растворимостью в воде;

2) фрикционные ПГМ, которые содержат не менее 95 % нерастворимых компонентов – песок, щебень, гранитная и мраморная крошка и создают шероховатую поверхность, обеспечивая улучшение механического сцепления с поверхностью (дорожного полотна, тротуарной дорожки и т. д.);

3) комбинированные (химико-фрикционные) ПГМ, содержащие в своем составе плавящую и фрикционную части в количестве от 5 до 95 %.

По агрегатному состоянию ПГМ подразделяется на твердые (сыпучие смеси) и жидкие;

Основные критерии выбора ПГМ:

1) эффективность – определяется температурными режимами работы, способами применения, плавящей способностью и др.;

2) экологичность – зависит от степени риска негативного воздействия на среду обитания;

3) экономичность – определяется стоимостью ПГМ, которая зависит от таких факторов, как расход ПГМ, прямые и косвенные затраты от применения современных противогололедных материалов.

В Республике Беларусь требования к ПГМ, предназначенных для предупреждения и ликвидации гололеда на покрытиях автомобильных дорог общего пользования, регламентированы СТБ 1158-2013 «Материалы противогололедные для зимнего содержания автомобильных дорог. Общие технические условия». Данный нормативный документ содержит также базовые требования безопасности и охраны окружающей среды при использовании ПГМ.

Проведенный анализ доступных литературных источников по вопросу международной практики применения ПГМ позволил выделить руководство по выбору противогололедных материалов для снижения воздействия на окружающую среду (Guidelines for the Selection of Snow and Ice Control Materials to Mitigate Environmental Impacts), которое содержит перечень рекомендаций и требований для рационального выбора противогололедных средств, учитывающих многие факторы, в том числе и экологические [1].

В настоящее время известно около 30 наименований различных ПГМ. Несмотря на то что в настоящее время известно около трех десятков различных химических и химико-фрикционных ПГМ, основными их компонентами являются хлориды натрия, калия, кальция, магния, формиат натрия, а также соли или эфиры уксусной кислоты (ацетаты аммония, калия), которые широко применяются в различных отраслях промышленности, в других областях народного хозяйства и деятельности человека, нормированы в средах обитания человека (рабочая зона, атмосферный воздух, питьевая вода, почва), по параметрам токсичности и показателям опасности для человека являются малоопасными или умеренно опасными веществами (3–4 классы опасности) по ГОСТ 12.1.007-76, могут обладать раздражающим действием при попадании на кожу и слизистые оболочки от слабой до умеренной степени выраженности. Большинство компонентов ПГМ в той или иной мере способны оказывать неблагоприятное воздействие на среду обитания человека (почву, поверхностные и грунтовые воды, растения и животные).

Использование живых организмов в качестве индикаторов для определения качества окружающей среды давно получило широкое признание в научном сообществе. Уже не один год растения, животные, грибы и бактерии используются в качестве биоиндикаторов и средств биомониторинга в воздухе, исследовании загрязнения почвы и воды. Биологический мониторинг может быть определен как измерение ответа живых организмов к изменениям в их среде обитания, и подразделяется на «пассивный» и «активный». Пассивный мониторинг осуществляется через наблюдение и анализ организмов, которые являются обычными обитателями экосистемы. Активный мониторинг включает все методы, при которых организмы помещают в контролируемых условиях в контролируемое место. Эти методы предоставляют информацию о реакции живых организмов на комплексное воздействие загрязнителей окружающей среды, которое не может быть определено прямыми аналитическими измерениями. Биомониторинг предоставляет детальную и надежную информацию охватывая значительную территорию при относительно низких затратах ресурсов и, как правило, основан на чувствительных или накапливающихся организмах, то есть на биоиндикаторах или биоаккумуляторах. Биоиндикаторы проявляют очень высокую чувствительность к поллютантам, предоставляя информацию, которая является функцией качества экологического сектора при экспертизе. Они могут дать информацию об уменьшении биотического разнообразия с уменьшением видов, составляющих сообщество и увеличение числа особей, принадлежащих к нескольким

устойчивым видам; о наличии или отсутствии определенного вида; появлении структурного повреждения, обратимого или постоянного. Организм, используемый в качестве биоиндикатора, должен иметь следующие характеристики: быть легко идентифицируемым; легко отобраным; быть широко распространенным в исследуемом районе; иметь низкую мобильность; длительный жизненный цикл; иметь хорошую генетическую однородность по всей рассматриваемой области; присутствовать в исследуемой среде около года. Биоиндикаторы позволяют создать сеть сайтов мониторинга с последующим удовлетворительным покрытием территории без необходимости использования сложного и дорогостоящего оборудования. Таким образом, наличие большого количества надежных видов биоиндикаторов является важным шагом в направлении использования методологий в научной деятельности. Кроме того, данные, полученные при биомониторинге, не связаны с одной, а являются итогом очень большого количества выборок.

В качестве противогололедных реагентов в Беларуси чаще всего используют техническую соль (галит), песчано-солевые смеси и реже хлористый кальций. Это обусловлено тем, что качественный/компонентный состав других ПГМ и процесс их производства обуславливает высокую стоимость, поэтому их массовое применение коммунальными службами экономически нецелесообразно. Также данные материалы в той или иной степени могут обладать недостаточной эффективностью и оказывать негативное воздействие на окружающую среду (вода, почва, воздух).

Хлористый кальций модифицированный (ХКМ) – экологически более безвреден, чем галит, однако менее эффективный антиобледенитель, так как обладает свойством создавать «масляную» пленку на дороге, в результате чего тормозной путь автомобиля увеличивался в несколько раз, также имеет короткий срок действия – 3 часа. Это приводит к тому, что дороги в течение суток необходимо обрабатывать несколько раз. При применении технической соли дороги остаются сухими, поскольку влага испаряется. ХКМ, напротив, притягивает влагу. После обработки дорожной наледи жидким ХКМ, коэффициент сцепления шин с дорогой снижается на 30 % даже по сравнению с мокрым асфальтом (данные исследований Московского автодорожного института (МАДИ)). По сравнению с технической солью, ХКМ обладает несколькими существенными преимуществами: нормы расхода хлористого кальция в среднем на 30–40 % ниже, при этом он весьма эффективен при низких температурах (до –35 °С не позволяет образовываться гололеду и снежно-ледяным накатам). Несмотря на свои относительно безопасные экологические характеристики и некоторые преимущества действия, он является более дорогим реагентом и менее универсальным, уступая в своим противогололедных свойствах галиту. Как и соль, ХКМ агрессивен по отношению к обуви из натуральных материалов: даже очень хорошо выделанная кожа под воздействием реагентов становится жесткой, а значит, может легко треснуть. К тому же хлор, известный своими отбеливающими свойствами, изменяет цвет обуви. Хлористый кальций небезопасен и для животных. По данным ветеринарных клиник, зимой отмечается увеличение количества жалоб от собаководов, чьи питомцы стали чаще попадать в ветлечебницы с химическими ожогами лап.

Песчано-солевые смеси, начиная с 1960-х гг., являются основными противогололедными реагентами (как правило, состоящая из 92% песка и 8% технической соли). Это один из самых дешевых способов борьбы с гололедом. Однако весной скопившийся на дорогах песок основательно забивал водостоки. Он оставался на дорогах и тротуарах, загрязнял газоны, поэтому весной коммунальным службам приходилось тратить значительные средства, чтобы очистить от него город и вывезти песок на свалку.

Техническая соль (галит) по своей химической структуре представляет собой хлорид натрия (NaCl, CAS 7647-14-5), не очищенный от технических примесей (табл.). NaCl обладает высокой противогололедной эффективностью, имеет низкую стоимость по сравнению с другими ПГМ. Соль можно применять в широком температурном диапазоне от –0 до –30 °С, но она наиболее эффективна при температуре до –15°С. Основные недостатки технической соли – коррозионная активность для автотранспорта, инженерных конструкций и элементов дорог, способность повреждать обувь прохожих, концентрированные пары солей натрия способны разъедать вставки электропроводов.

Таблица – Химический состав галита

Показатель	Содержание веществ
Массовая доля хлористого натрия, %	97,0
Массовая доля кальций-иона, %	0,65
Массовая доля магний-иона, %	0,25
Массовая доля калий-иона, %	0,20
Массовая доля сульфат-иона, %	1,50
Массовая доля оксида железа, %	0,01
Массовая доля не растворимых в воде веществ, %, не более	0,85
Массовая доля влаги, %, не более	4,5

Применение технической соли в качестве ПГМ может приводить к неблагоприятным экологическим последствиям. Так, накопление соли способно влиять на водные экосистемы, а также наносить ущерб наземной растительности. Повышение засоленности почвы может изменить почвенные условия и, следовательно, пригодность почвы для роста растений, особенно в районах, расположенных рядом с дорогами, где зимой используется

соль. Из-за действия Na^+ из противоблежденительной соли происходит выщелачивание таких ионов, как Ca^{2+} , Mg^{2+} и K^+ . Повышенные концентрации катионов натрия в почве имеют тенденцию вытеснять встречающиеся в природе катионы и диспергировать органические и неорганические частицы в порах почвы, что снижает проницаемость и аэрацию почвы, приводит к ее эрозии. Это явление может серьезно нарушить рост растений и повлиять на окружающую среду. По данным Norrstrom и Bergstedt [2], после применения ПГМ соль обнаруживается в почвенном грунте на расстоянии 10 м от края дороги, с самой высокой концентрацией в 6 м. Таким образом, расстояние, на которое соли могут транслокационно мигрировать через почву, зависит от подземных условий. Другим неблагоприятным воздействием хлорида в почве является его способность выделять металлы, сорбированные в почвенных частицах, которые, высвобождаясь, могут мигрировать из почвы с приземными воздушными потоками [1].

Поглощение хлорида через корни растений или накопление на листьях и ветвях может негативно повлиять на придорожную растительность. Симптомы, связанные с воздействием соли, аналогичны симптомам засухи: задержка и нарушение вегетативного роста, преждевременное пожелтение и опадание листьев/иголок. В этом случае можно использовать методы биоиндикации с различными видами придорожных зеленых насаждений – деревьев и кустарников, позволяющих улучшить состояние газового состава атмосферы в пределах придорожных зеленых насаждений. Классическим примером является подбор наиболее подходящих видов растений и расчет площади зеленых насаждений с помощью «методики измерения флукутирующей асимметрии листьев».

Установлено, что галит оказывает влияние на почву и грунтовые воды, поэтому одними из эффективных и перспективных методов биоиндикации является использование почвенных нематод, позволяющих индикативно выявлять различные отклонения в качественном составе почв. Также заслуживает внимания применение биоиндикаторных видов грибов, например, в комбинации методов грибкового рибосомного межгенного спейсера (F-RISA) с ПЦР-анализом в реальном времени [3].

Техническая соль (галит) способна проникать в поверхностные и подземные воды и может подавлять сообщества водных микро- и макроорганизмов. Анализ и качественно-количественная оценка химического состава поверхностных вод, подверженных влиянию сезонного использования ПГМ, также является одним из методов биоиндикации загрязнения рек и водоемов.

Таким образом, принимая во внимание потенциальный риск возможных экологических последствий активного применения в зимних условиях технической соли (галита) в качестве ПГМ, представляется возможным достигнуть и поддерживать на благоприятном уровне состояние гомеостаза среды обитания при рациональном использовании галита и применении биоиндикации. При этом наиболее эффективными методами мониторинга и поддержания гомеостаза среды обитания являются методы биоиндикации с использованием различных видов индикаторов, активное научное изучение особенностей взаимодействия соли с почвой и практическое использование полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Levelton Consultants Limited. Guidelines for the selection of snow and ice control materials to mitigate environmental impacts. National Cooperative Highway Research Program, American Association of State Highway, and Transportation Officials, Vol. 577. Transportation Research Board. Washington: DC, 2008.
2. Norrström, A-C., Bergstedt, E. The impact of road de-icing salts (NaCl) on colloid dispersion and base cation pools in roadside soils / A-C. Norrström, E. Bergstedt // Water, Air, and Soil Pollution 127. – 2001. – No. 1–4. – P. 281–299.
3. Ranjard, L. Characterization of bacterial and fungal soil communities by automated ribosomal intergenic spacer analysis fingerprints: biological and methodological variability / L. Ranjard, F. Poly, C. Mougel // Appl Environ Microbiol. – 2001. – Vol. 67. – No. 10. – P. 4479–4487.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОРАСТАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ СЕМЯН ЯЧМЕНЯ EFFECT OF ELECTROMAGNETIC RADIATION ON THE GROWTH OF DIFFERENT VARIETIES OF BARLEY SEEDS

С. О. Гапоненко, А. В. Бардюкова
S. Gaponenko, A. Bardyukova

*Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси,
г. Гомель, Республика Беларусь
ma2856@mail.ru*

Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus

Рассмотрено влияние неионизирующего низкоинтенсивного переменного электромагнитного излучения на покоящиеся семена ячменя разных сортов при их длительном хранении и последующем проращивании. Определены важнейшие ферменты в облученных и пророщенных семенах ячменя.