

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА В СВЯЗИ С ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ПОЧВ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Козыренко М. И., Кухарчик Т. И.

*Институт природопользования НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь, e-mail: margarita_kozyrenko@tut.by*

Рассмотрены подходы к оценке рисков от загрязнения почв, базирующиеся на использовании различных моделей, разработанных в зарубежных странах. Приведена краткая характеристика наиболее широко используемых моделей для оценки экологических рисков, в т.ч. их назначение, выходные данные, ограничения в использовании и т.д. Показано, что модель SADA может быть использована для получения качественных и количественных оценок риска в связи с загрязнением почв бывших промышленных территорий.

Ключевые слова: загрязнение почв; оценка риска; модели; SADA.

APPROACHES TO ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT REGARDING SOIL CONTAMINATION IN URBAN AREAS

Kazyrenka M. I., Kukharchyk T. I.

*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus, e-mail: margarita_kozyrenko@tut.by*

The approaches to assessing risks from soil contamination based on the use of various models developed in foreign countries are considered. A brief description of the most widely used models for assessing environmental risks including their purpose, output, restrictions on use, etc. is given. It is shown that the SADA model can be used to obtain qualitative and quantitative assessments of the risk associated with soil pollution in former industrial areas.

Key words: soil contamination; risk assessment; models; SADA.

Оценка экологического риска в связи с загрязнением почв является одним из важных элементов эффективного управления загрязненными территориями, поскольку позволяет выявить наиболее важные пути поступления загрязняющих веществ в организм человека, определить опасность загрязнения почв с точки зрения воздействия на здоровье человека, ранжировать загрязненные территории по приоритетности природоохранных мер. В городах оценка риска в связи с загрязнением почв особенно актуальна для территорий бывших промышленных предприятий, для которых требуется смена функционального назначения. В настоящее время такой подход широко распространен в природоохранных практиках стран ЕС, Северной Америки [1 – 3].

Структура анализа риска включает в себя оценку риска, управление риском, обмен информацией. На основании полученной оценки принимаются

решения по управлению загрязненными территориями с учетом политических, социальных, экономических и технических факторов.

Оценка риска включает в себя несколько этапов:

- идентификация опасности (идентификация типа и природы значимых эффектов, вызываемых у рецептора (организма, популяции, системы и т.д.);

- характеристика опасности (оценка «доза-эффект») (качественное, по возможности, количественное описание загрязняющего вещества – агента или условий, потенциально вызывающих значимые эффекты). Этот этап должен включать в себя оценку «доза-эффект», включающую описание серьезности возникающих значимых эффектов, в соотношении с количеством и условиями воздействия агента;

- оценка воздействия (прогнозирование или оценка концентрации/количества агента, частоты и продолжительности его воздействия на рецептор);

- характеристика риска (определение вероятности возникновения значимых эффектов у рассматриваемой цели при прогнозируемых или оцененных условиях воздействия).

Одним из наиболее важных шагов в оценке риска, когда прогнозируется или оценивается количество изучаемого вещества, попадающего в организм человека, является оценка воздействия [4].

Среди наиболее часто учитываемых путей воздействия указываются: ингаляционный (вдыхание воздуха или частиц), прямое поступление (воды, почвы, пыли, пищевых продуктов, питьевой воды), контактный (абсорбция кожей). Кроме того, опасные вещества могут напрямую попадать в кровоток напрямую, например, через раны на кожных покровах. При этом подходы к оценке риска для неканцерогенных и канцерогенных веществ различаются: для неканцерогенных веществ разработана пороговая концепция риска, для канцерогенных – беспороговая.

Для интерпретации результатов оценки риска используется система критериев приемлемости, рекомендованная ВОЗ. Такой подход уже был использован нами ранее для классификации уровней риска для здоровья человека в зоне воздействия лакокрасочного производства [5].

В настоящее время в ряде стран разработаны различные программные инструменты, позволяющие получить качественные и количественные оценки рисков от загрязнения почв. Инструментарий и модели, предназначенные для оценки риска от загрязненных территорий, начали разрабатываться еще в 1990-х годах в США, а затем и в других странах. В настоящее время имеются широкие возможности для получения оценок экологического риска на базе самых различных разработок: CLEA, CalTOX, UseTOX, MMSoils, SADA и др.

В модели CLEA (Великобритания) используются общие предположения о судьбе и переносе химических веществ в окружающей среде и общая концептуальная модель условий на местности и поведения человека для оценки воздействия загрязняющих веществ, содержащихся в почве, на тех,

кто потенциально живет, работает и / или играет на загрязненных участках в течение длительных периодов времени. Модель позволяет получить критерии оценки и ввести свои собственные наборы данных по химическим веществам, почве, типам землепользования и т.д. Такие критерии могут помочь оценить риски для здоровья человека от хронического воздействия загрязненной почвы при различных типах землепользования. CLEA может быть использована для:

- получения общих критериев оценки с использованием стандартных предположений о характеристиках и поведении загрязнителей, путях и рецепторах;

- получения критериев оценки для конкретного объекта, объединяя стандартные допущения с дополнительной информацией для конкретной территории, собранной для уточнения оценки риска;

- сравнения непосредственно предполагаемой среднесуточной экспозиции (ADE) со значением критериев здоровья (HCV), соответствующего концентрациям в окружающей среде для репрезентативного участка.

Во многих случаях оценки, полученные с помощью модели, дают возможность получить обоснованные прогнозы вероятных концентраций при наихудшем сценарии. Следует отметить, что достоверность оценки будет зависеть от правильности заданных характеристик почвы и условий площадки. Точность оценки судьбы и переноса зависит от нескольких наборов параметров: физико-химические свойства загрязнителя почвы и условий площадки, включая тип почвы, ветровые условия и физические размеры сооружений [6].

Модель находится в открытом доступе и может использоваться для экспресс-оценки на предварительных этапах исследования территории и оценки состояния почвенного покрова.

Модель *CalTOX*, разработанная в 1993 г. Департаментом контроля токсических веществ США и Калифорнийским агентством по охране окружающей среды, широко использовалась в научных исследованиях для оценки рисков от загрязненных территорий для большого перечня загрязняющих веществ: пестицидов, ПАУ, ПХБ [7 – 10], в свое время считалась наилучшей для оценки канцерогенных рисков.

CalTOX является широко используемой моделью для оценки воздействия поступления загрязняющих веществ из различных сред (воздух, вода, почва) на здоровье человека. *CalTOX* состоит из двух составных частей: мультимедийной модели транспорта и трансформации и модели воздействия на человека. Модель *CalTOX*, состоящая из 8 блоков, позволяет оценить распределение химических веществ между атмосферой, водой, почвой и биотой.

Транспортная модель *CalTOX* предназначена для моделирования длительных временных промежутков (от нескольких месяцев до

десятилетий), используется для моделирования очень низких уровней загрязнения.

К настоящему времени на базе CalTOX созданы современные версии моделей для оценки воздействий TRACI и UseTOX.

Среди существующих экологических моделей, позволяющих оценивать токсическое воздействие на пресноводные экосистемы и здоровье человека, отдельного внимания заслуживает модель *USEtox*, разработанная Обществом экологической токсикологии и химии (SETAC) в 2010 г. и рекомендованная для использования мировым научным сообществом: UNEP, АООС США, Европейской комиссией и др. [11]. USEtox охватывает два пространственных масштаба: континентальный и глобальный [4]. Одним из преимуществ модели является учет многофакторности воздействия химических элементов: принимается во внимание их поступление ингаляционным и пероральным путями. Другим серьезным достоинством, представляющим уникальность модели и актуальность ее использования в контексте экологических исследований, является учет специфических ландшафтно-географических и климатических особенностей территории. USEtox включает отдельные компоненты модели для расчета коэффициентов судьбы (FF), коэффициентов воздействия (XF) и коэффициентов эффектов (EF). Эти компоненты рассчитываются независимо, но результаты их расчетов объединяются вместе для получения коэффициентов, характеризующих токсичность для человека и экотоксичность для пресной воды.

В USEtox не заложена возможность разработки требуемых входных параметров/данных. Все используемые данные получают из существующих баз данных и литературных источников [12].

Основным результатом использования USEtox является база данных «рекомендуемых» и «индикационных» факторов характеристики токсичности для человека и экотоксичности, основанная на моделировании судьбы окружающей среды, параметров воздействия и эффектов.

Модель *MMSOILS* (Multimedia Contaminant Fate, Transport, and Exposure Model) оценивает воздействие на человека, риск для здоровья, связанный с поступлением загрязняющих веществ от опасных отходов. Методология основывается на мультимедийной модели, в которой рассматривается поступление химического вещества в грунтовые и поверхностные воды, атмосферу, почвы и накопление в пищевой цепи. Рассматриваемые пути воздействия на человека: попадание с почвой, вдыхание летучих и твердых частиц, контакт с кожей, поступления с питьевой водой, с потреблением рыбы, растениеводческой продукции, выращенной на загрязненной почве, животных продуктов от скота, пасущегося на загрязненном пастбище [13]. При мультимедийных воздействиях методология обеспечивает оценку воздействия на человека по отдельным направлениям и комбинированного воздействия по всем рассматриваемым путям. Риск, связанный с общей дозой облучения, рассчитывается на основе данных о химической токсичности.

Методология используется как инструмент скрининга и относительного сравнения различных мест складирования отходов, восстановительных работ и оценки опасности, может быть использована для оценки рисков для здоровья на конкретном участке.

Система оценки веществ Европейского Союза *EUSES* является инструментом поддержки принятия решений, который позволяет государственным органам, исследовательским институтам и химическим компаниям проводить быструю и эффективную оценку общих рисков, связанных с химическими веществами. *EUSES* предназначен в основном для первоначальной и уточненной оценки риска, а не для комплексной оценки [14].

Структура *EUSES* представлена в виде набора вложенных шкал. Местный масштаб вложен в региональный масштаб, который в свою очередь вложен в континентальный масштаб. Все шкалы разделены на экологические модули, которые включают как минимум воздух, почву, воду и осадки (*EUSES*).

В качестве рецепторов, рассматриваемых в *EUSES* в отношении защиты человека и охраны окружающей, среды выступают:

- население (рабочие, потребители и люди, подверженные воздействию окружающей среды);
- экологические системы (микроорганизмы в системах очистки сточных вод, водные экосистемы, наземные экосистемы, донные экосистемы и хищники).

При наличии литературных данных могут быть рассчитаны такие показатели как токсичность дозы, фертильная токсичность, токсичность для матери, канцерогенный риск в течение жизни и др.

EUSES была разработана для количественной оценки рисков, связанных с новыми и существующими химическими веществами. Доступность данных зависит от типа изучаемого вещества.

Модель *SADA* разработана в Институте моделирования окружающей среды Университета Теннесси. С помощью данной модели можно определить места отбора проб, провести статистическую обработку данных, пространственное моделирование, анализ неопределенностей, оценить риск, определить дизайн ремедиационных работ. Полученные результаты можно визуализировать при помощи встроенного блока GIS [15, 16].

SADA может использоваться независимо или коллективно для решения конкретных проблем площадки при характеристике загрязненного участка, оценке риска, определении местоположения будущих точек отбора и при разработке корректирующих действий.

Модель позволяет рассчитывать риски как по отдельным загрязняющим веществам, так и по веществам в совокупности. Имеющиеся в *SADA* модели расчета риска разработаны на основе Руководства по оценке риска АООС США и могут быть настроены в соответствии с конкретными условиями/воздействиями на изучаемом объекте.

Основными выходными данными при оценке риска для здоровья человека являются скрининговые уровни, называемые предварительными целями очистки (PRG). В соответствии с этими уровнями при сравнении с ними полученных фактических концентраций можно сократить перечень загрязняющих веществ, в отношении которых следует проводить дальнейшие исследования или работы по экскавации. Загрязняющие вещества в концентрациях выше полученного уровня PRG считаются загрязнителями, в отношении которых должны проводиться дальнейшие работы.

Наиболее важными преимуществами данной модели являются следующие: свободный доступ, удобный пользовательский интерфейс, возможность корректировки входных данных для широкого перечня загрязняющих веществ, встроенные базы данных по токсикологическим профилям и параметрам воздействия и сценариям, возможность визуализации полученных результатов с помощью встроенных GIS-технологий.

Возможности использования SADA были рассмотрены на примере бывшей промплощадки предприятия по производству вычислительных приборов в центральной части г. Минска. Величины риска (для канцерогенных эффектов) и коэффициентов опасности (для неканцерогенных эффектов) для здоровья человека получены для тяжелых металлов, повышенные концентрации которых были обнаружены на исследованном участке. Выявлено, что замеренные концентрации цинка и кадмия в почве не представляют значимого риска для здоровья взрослых и детей (в расчетах учтены 3 основных пути поступления: ингаляционный, пероральный и контактный) при изменении функционального назначения территории для жилой застройки. Получено пространственное распределение величин риска с использованием интерполяционных методов.

Результаты расчетов, полученных с помощью моделей для оценки рисков, могут использоваться при планировании застройки городских территорий, оценки возможностей смены их функционального назначения, планирования мероприятий по очистке или перекрытию и т.д., что особо актуально для таких интенсивно застраиваемых городов как Минск. Модель SADA может быть полезна как на начальных стадиях исследований (планирование схемы отбора проб), так и на последующих этапах с получением качественных и количественных характеристик рисков и коэффициентов опасности для оценки качества почв и принятия решений по очистке.

Список использованных источников

1. An ecological risk assessment framework for contaminants in soil. Science report - SC070009/SR1 // Environment Agency, 2008. – 40 p.
2. Guidelines for ecological risk assessment // US EPA, Risk assessment forum, Washington, 1998. – 188 p.
3. Ecological risk assessment guidance. FCSAP, Vancouver, 2012. – 219 p.
4. A Revision of Current Models for Environmental and Human Health Impact and Risk Assessment for Application to Emerging Chemicals / J. Rovira [et al.] // Global Risk-Based Management of Chemical Additives II: Risk-Based Assessment and Management Strategies, Chapter: A Revision of Current Models for Environmental and Human Health Impact and Risk

Assessment for Application to Emerging Chemicals, Editors: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2013. – P. 91-108.

5. Кухарчик, Т.И. Научно-методические подходы к оценке экологического риска в связи с загрязнением почв ПХБ и опыт применения в Беларуси / Т.И. Кухарчик, М.И. Козыренко // Природопользование. – 2011. – Вып. 19. – С. 8–16.

6. Updated technical background to the CLEA model. Using science to create a better place. Science report SC0050021/SR3 // Environment Agency, 2009. – 164 p.

7. Ecological Risks from Contamination of Ukrainian Soils by Persistent Organic Pollutants / L. Moklyachuk [et al.] // Environment and Ecology Research. – 2014. – 2(1). – P. 27–34.

8. Loranger, S. Health Risk Assessment of an Industrial Site Contaminated With Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Using CalTOX, an Environmental Fate/Exposure Model / S. Loranger, Y. Courchesne. – 1997. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1080/10629369708031726>. – Дата доступа: 26.05.2019.

9. Environmental and health risk assessment of an oil contaminated site in the Mexican tropical southeast / R. Uribe-Hernández [et al.] // Int. J. Oil, Gas and Coal Technology. – Vol. 3. – No. 1. – 2010. – P. 19–38.

10. Risk assessment of polychlorinated biphenyls (PCBs) in indoor air / B.K. Davis [et al.] [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dtsc.ca.gov/wp-content/uploads/sites/31/2018/01/Risk-Assess-PCB-Indoor-Air.pdf>. – Дата доступа: 15.06.2019.

11. USEtox fate and ecotoxicity factors for comparative assessment of toxic emissions in life cycle analysis: sensitivity to key chemical properties / A.D. Henderson [et al.] // Int J Life Cycle Assess. – 2011. – 16. – P. 701–709.

12. USEtox® 2.0 Documentation / M. Bijster [et al.] // USEtox® International Center hosted at the Technical University of Denmark. – 2018. – 208 p.

13. MMSOILS / Environmental Modeling Community of Practice. – 1997. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.epa.gov/ceam/mmsoils>. – Дата доступа: 14.11.2020.

14. The European Union System for the Evaluation of Substances / European Commission. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ec.europa.eu/jrc/en/scientific-tool/european-union-system-evaluation-substances>. – Дата доступа: 17.11.2020.

15. Spatial Analysis and Decision Assistance (SADA). Version 4. User Guide. – 2005. – 320 p.

16. Stewart R.N. An environmental decision support system for spatial assessment and selective remediation / R.N. Stewart, S.T. Purucker // Environmental Modelling and Software. – № 26. – 2011. – P. 751–760.