

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА И КАРТИРОВАНИЯ КРИТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ ЭКОСИСТЕМ УКРАИНЫ**

Активное развитие геоинформационных технологий создало качественно новую методическую базу для пространственно-временного моделирования, что позволяет систематизировать, визуализировать и оперативно анализировать большие объемы пространственной информации по состоянию окружающей среды и здоровья населения.

Методические подходы к оценке экологических параметров среды, здоровья населения и их картированию в настоящее время разрабатываются в рамках Европейской Конвенции о трансграничных переносах атмосферных загрязнителей на дальние расстояния. Участниками конвенции являются 44 государства Европы. В рамках Конвенции ими были заключены имеющие обязательную юридическую силу Протоколы, действие которых распространяется на загрязнители воздуха, в наибольшей степени воздействующие на окружающую среду и здоровье человека (тяжелые металлы, пестициды, окислы азота и серы, озон в приземном слое атмосферы). Участниками Конвенции был выработан подход, основанный на расчетах и картировании критических нагрузок и показывающий степень чувствительности разных экосистем к воздействию загрязнителей.

Показатель критической нагрузки - это максимальное количество загрязняющих веществ, которое может поглощаться экосистемой в течение длительного времени без существенного ущерба для ее состояния и функционирования. Расчеты критических нагрузок сводятся к определению границ экосистем, сбору исходных данных, моделированию и картированию.

Экосистема является элементарным выделом картографирования, для которого проводятся расчеты. Выбор типов экосистем для расчетов на национальном уровне зависит от характера природопользования, степени распространенности по территории и степени влияния на них трансграничных переносов атмосферных загрязнителей. Такими экосистемами могут являться лесные экосистемы, степи, водно-болотные угодья, сельскохозяйственные и урбанизированные территории.

Для выделения экосистем необходимо наличие геоинформационной базы данных, включающей в себя информационные слои, характеризующие необходимые элементы окружающей среды (типы почв, использование земель, растительный покров и т.д.). В идеале это должны быть информационные слои, основанные на национальных данных.

При отсутствии такой информации используют Европейские данные, включающие в себя цифровую карту почв (FAO Soil Map, 1994), базу данных использования земель по ячейкам сетки 10' x 10' (RIVM-European Land Use Map), ячейки сетки 50 км на 50 км, принятой ЕМЕР (European Monitoring and Evaluation Programme), на основе которой интегрируются все расчеты по критическим нагрузкам.

Национальные и общеевропейские данные отличаются форматами представления, системами координат и проекций. С этой точки зрения, геоинформационные технологии обладают всем спектром инструментальных возможностей, позволяющих привести эти данные к единым форматам, обработать их и выделить контуры экосистем для всего спектра масштабов электронных карт, необходимые для дальнейших расчетов критических нагрузок.

Кроме того, для расчетов критических нагрузок необходимы исходные данные, характеризующие параметры экосистем. Например, это может быть pH почв, ежегодный прирост древесной биомассы, урожайность зерновых и т.д. Сбор этих данных может осуществляться на основании инструментальных измерений в пределах мониторинговых площадок, а также рассчитываться на основе экспертных оценок и различных удельных показателей функционирования экосистем. Использование возможностей ГИС-технологий – оверлейные операции, единая система кодирования и пространственной привязки данных – позволяет представить эти базы данных как единую систему интегрированных информационных слоев.

Наличие исходных данных по типам экосистем и их компонентам определяет выбор модели для расчета критических нагрузок. Это может быть эмпирический подход, основанный на данных полевых наблюдений, метод упрощенного масс-баланса и динамические модели расчета.

Русским фокальным центром во главе с профессором В.Башкиным был произведен расчет критических нагрузок для свинца и кадмия на территории Европейской части России и Украины.

Для расчета величин критических нагрузок был выбран один из подходов предлагаемых Национальным институтом общественного здоровья и окружающей среды Нидерландов (De Vries et al., 2002), который учитывает возможное негативное воздействие тяжелых металлов на биоту при их определенных (критических) концентрациях в различных природных средах - почвах, почвенных растворах, растительной продукции и т.п..

Расчет производился для лесных экосистем на основе упрощенного уравнения масс-баланса металлов в почвах (для слоя 0-10 см), считая, что внешнее поступление (критическая нагрузка) металлов в лесные экосистемы за счет атмосферных выпадений суммарно не должно превышать потоков, выводящих тяжелые металлы из экосистем.

$$CL(M) = fM_{gu} + M_{le}$$

где:

$CL(M)$  – критическая нагрузка металла (г/га в год);

$M_{gu}$  – вынос металла ежегодным приростом древесной биомассы наземной части растительности (г/га в год);

$M_{le}$  – вынос металла с почвенно-грунтовым стоком (г/га в год);

Каждый член правой части данного уравнения рассчитывался, в свою очередь, на основе уравнений, учитывающих особенности формирования данного биогеохимического потока. Оценку выноса металла биомассой наземной растительности проводили по следующей формуле:

$$M_{gu} = 0,5 * Y * 10^{-3} * [M_g]$$

где:

$0,5$  – коэффициент, учитывающий долю потребления металлов растительностью из верхнего (0-10 см) корнеобитаемого слоя почвы;

$Y$  – ежегодный прирост древесной биомассы наземной части растительности (кг/га в год);

$[M_g]$  – концентрация металла в соответствующей части биомассы (мг/кг);

$10^{-3}$  – коэффициент, переводящий мг/кг в г/кг.

Данные о ежегодном приросте древесной части биомассы в соответствующих лесных экосистемах взяты из (Базилевич, 1993). Концентрацию металлов в древесине считали равной для свинца 1 мг/кг (сухого веса) и для кадмия 0,1 мг/кг, исходя из уточнения величин, предложенных (De Vries et al., 2002) на основе российских данных (Золотарева и др., 1983; Елпатьевский, 1993; Учватов, 1995; Золотарева, Учватов, 1996; и др). При использовании этих данных учитывалось, что в настоящее время депонирование Pb и Cd в древесной части биомассы лесов в странах СНГ ниже, чем в Западной Европе, поэтому брались наименьшие из предложенных (De Vries et al., 2002) значений концентраций тяжелых металлов для относительно «незагрязненных» экосистем.

Вынос металла с почвенно-грунтовым стоком рассчитывали по формуле:

$$M_{le} = 10 * Q_{le} * 10^{-3} * [M]_{ss}$$

где:

$Q_{le}$  – ежегодный почвенно-грунтовый сток (мм/год);

$[M]_{ss}$  – концентрация ТМ в почвенном растворе (мг/м<sup>3</sup>);

$10$  и  $10^{-3}$  – соответствующие коэффициенты пересчета для получения конечной величины в (г/га в год).

Допустимую (критическую) концентрацию металлов в почвенном растворе взяли согласно (De Vries et al., 2002). Считали, что при  $Q_{le}$  более 200 мм

концентрация составляет 6 (Pb) и 0,6 (Cd) мг/м<sup>3</sup>, а при  $Q_{lc}$  менее 200 мм – 8 и 0,8 мг/м<sup>3</sup>, соответственно.

В уравнение масс-баланса на данном этапе не включена величина поступления металлов в почвы за счет внутрипочвенного выветривания минералов  $M_{wec}$ , поскольку отсутствовали необходимые пространственно привязанные данные о гранулометрическом составе почв. Тем не менее, возможные соответствующие величины для почв разного гранулометрического состава были оценены по данным (De Vries et al., 2002), что предполагает снижение рассчитанных значений критических нагрузок на соответствующие величины (Таблица).

Таблица

Поступление тяжелых металлов в почвы за счет выветривания

| Варианты почв                            | Поступление за счет выветривания |               |
|--|----------------------------------|---------------|
|  | Pb, г/га/год                     | Cd, мг/га/год |
| Бедные песчаные                          | 0,25                             | 0,5           |
| Песчаные с высоким содержанием оснований | 0,3                              | 0,6           |
| Суглинистые                              | 0,9-0,95                         | 4,6-4,7       |
| Тяжелые глинистые                        | 3,125                            | 15,625        |

Полученные результаты, любезно предоставленные Российским фокальным центром, использовались для картирования критических нагрузок по свинцу и кадмию на территории Украины. Картирование было выполнено по ячейкам сетки 50 на 50 км, принятой в рамках программы ЕМЕР. Результаты картирования по критическим нагрузкам для свинца представлены на рисунке 1.

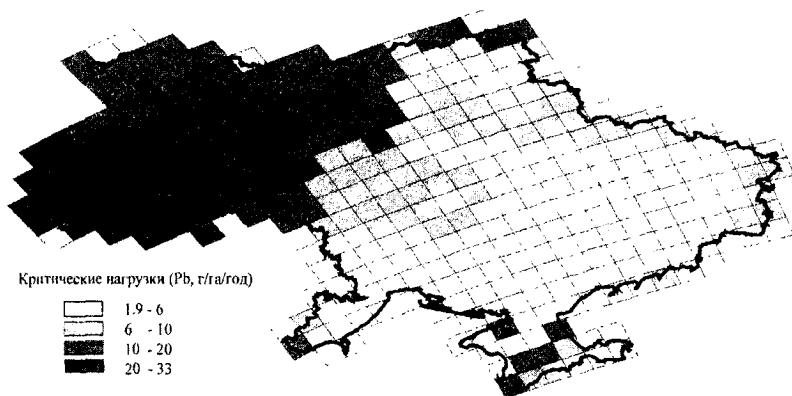


Рис. 1. Критические нагрузки для свинца по лесным экосистемам на территории Украины.

В данной работе расчет проводился только для лесных экосистем. Выделение лесных экосистем проведено совмещением слоев почвенной карты (электронный вариант карты FAO-UNESCO, 1974), карты использования земель (Land use, IGBP Map of EDC DAAC, 1997) и данных о суммарном гидрологическом стоке (электронная база данных - Runoff, NASA Global DB, 1989). Для оценки адекватности вычисления площадей нами сравнивались данные о лесных экосистемах, предоставленные профессором В.Н. Башкиным, с данными электронной топографической карты Украины масштаба 1:500 000, любезно предоставленной Харьковским межведомственным центром электронного картографирования. Результаты сравнения, выполнявшегося по ячейкам сетки 50 на 50 км, принятой программой EMEP, представлены на рисунке 2.

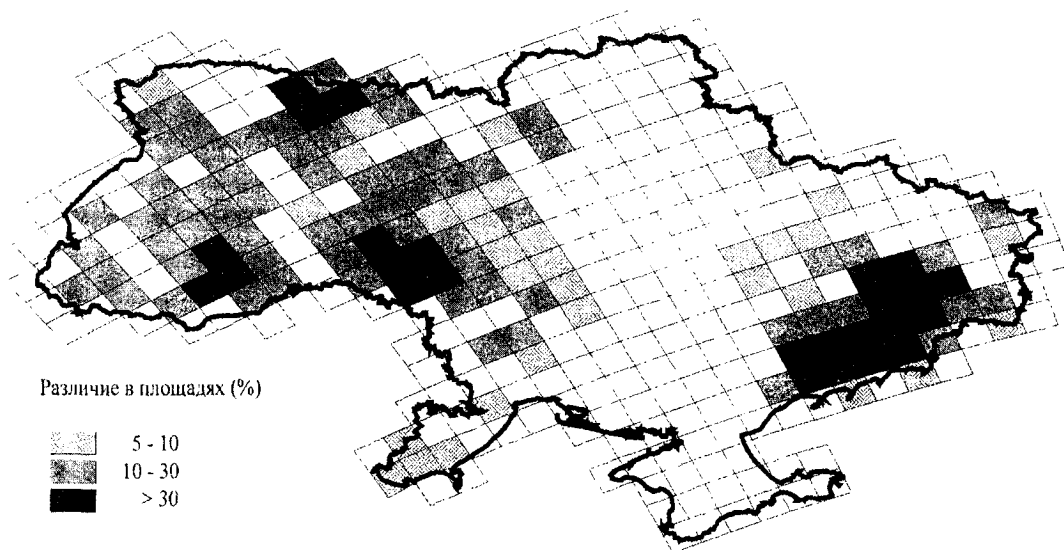


Рис. 2. Сравнение удельного веса площадей лесных экосистем по Европейским данным и цифровой электронной карте масштаба 1:500000.

Максимальное расхождение в площадях наблюдается на территории Донецкого региона, где площади лесных экосистем по Европейским данным завышены более чем на 30%. Для проверки точности Европейских данных на мезоуровне нами было проведено сравнение удельного веса площадей лесных экосистем и урбанизированных территорий для Крыма по данным электронной карты масштаба 1:200000 и материалам RIVM-European Land Use Map.

Результаты этого сравнения представлены на рисунке 3. По некоторым ячейкам несовпадение площадей превышает 50%. Причем для лесных экосистем

наблюдается превышение Европейских данных над национальными, а для урбанизированных территорий их занижение.

Значительное несоответствие площадей экосистем требует использования более точных национальных картографических данных для их выделения. Необходимо отметить, что в настоящее время Украина достаточно хорошо обеспечена как топографическими, так и тематическими электронными картами, необходимыми для оценки критических нагрузок на ее территорию.

В этом плане важное значение имеет создание первого электронного Атласа Украины [3], включающего ряд карт, позволяющих детализировать для мезорегионального уровня ряд параметров и коэффициентов, входящих в алгоритмы расчета критических нагрузок.

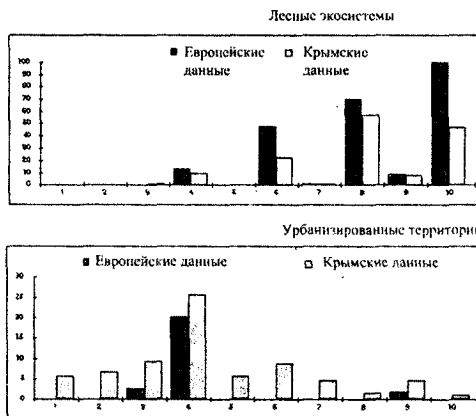
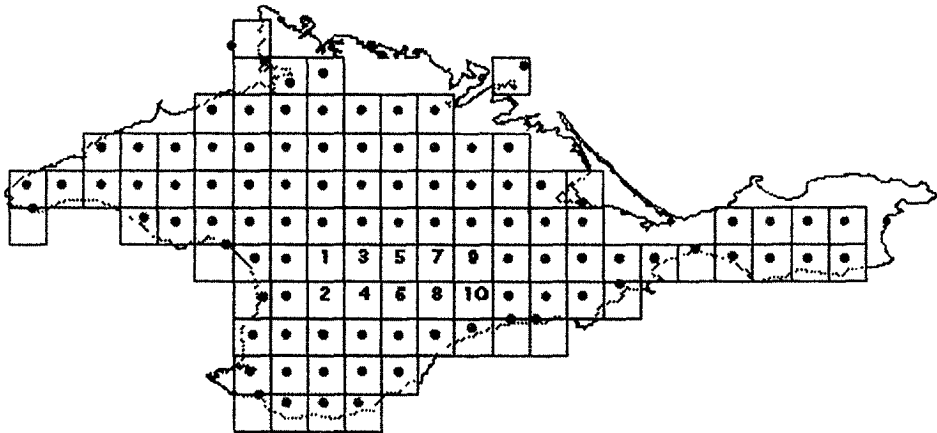


Рис.3. Сравнение Европейских и Крымских данных по лесным экосистемам и урбанизированным территориям

В настоящее время мы располагаем геоинформационной базой данных по территории Крыма, включающей топографическую карту масштаба 1:200000, почвенную карту масштаба 1:200000, ряд климатических карт, а также схему современного использования земель, созданную на основе анализа снимка LANDSAT, любезно предоставленного Украинским центром менеджмента земли и ресурсов.

Наличие этих баз данных, а также выполняемый в настоящее время проект создания электронного атласа Крыма позволяет перейти к геоинформационному картированию критических нагрузок для мезо- и микрорегионального пространственных уровней. Для этой цели важное методическое значение имеет высокое разнообразие типов природных и хозяйственных систем в пределах относительно небольшой территории Крыма.

Изложенное выше позволяет утверждать, что геоинформационные технологии являются достаточно эффективным средством оценки и картирования критических нагрузок на различные типы экосистем. Проведенный нами анализ [4] показал, что для оценки критических нагрузок на национальном и региональном уровне, в составе программы необходимо организовать группу геоинформационного картирования. Основными задачами этой группы должно являться:

- уточнение площадей различных типов экосистем на основе всего масштабного ряда имеющихся в Украине топографических и тематических электронных карт
- применение моделирующих возможностей современных геоинформационных систем для расчета параметров и коэффициентов, необходимых для вычисления критических нагрузок и зависящих от пространственной изменчивости (детализация зональных коэффициентов для мезо- и микроуровней)
- создание автоматизированной системы комплексного ландшафтного картографирования на базе отработанной нами технологии выявления и картирования элементарных операционных территориальных единиц, неделимых далее как в природном, так и в хозяйственном отношении
- разработка унифицированных подходов к созданию геоинформационных баз данных систем экологического мониторинга.

### Список литературы

1. Manual on Methodologies and criteria for Mapping Critical Levels/Loads. Berlin, 1996
2. Manual for calculating critical loads of heavy metals for terrestrial ecosystems. Guidelines for critical limits, calculation methods and input data. SC report 166. The Netherlands, 1998, 144p.
3. Руденко Л.Г., Бочковская А.И., Козаченко Т.И., Пархоменко Г.О., Разов В.П. Национальний атлас України. Концепція та шляхи її реалізації. – К.: Інститут географії НАН України, 2001. – 45 с.

---

Evstafyeva E., Karpenko S., Semenova T., The mapping methodologies of critical loads on Ukraine's ecosystems: towards a thematic network on air pollution and health . // Proceedings of the training workshop on critical loads calculations for air pollutants and mapping in east and south-east Europe (Chizinau, Republic of Moldova, 22-24.03.2001), p.p. 96-100.