

УДК 504.53.574

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ
СРЕДУ ПО ДАННЫМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

Канд. геогр. наук

И.Н. Шмарова

Канд. геогр. наук

Г.К. Турулина

В статье дается краткий обзор методов оценки и прогнозов влияния хозяйственной деятельности на окружающую среду, разработанных в различных странах мира. Приведен анализ возможности их применения для решения задач в области охраны окружающей среды.

Методы оценки и прогнозирования воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду в той или иной степени разрабатываются при любом исследовании природных объектов. Однако подходы к методам оценки и прогнозирования разных экосистем в зависимости от ряда обстоятельств весьма различаются. Эти обстоятельства определяются как концепциями, на которых основываются исследования, так и информационной обеспеченностью оценок и прогнозов. Качество оценок и прогнозов во многом определяется тем, насколько глубоко исследована природная изменчивость экологических процессов. А это требует организации и проведения многолетних режимных наблюдений (системы экологического мониторинга) с целью выявления естественных циклов динамики всех компонентов экосистем. По мере получения данных в результате проведения экологического мониторинга экосистем актуальным становится вопрос о преобразовании их в форму, доступную и удобную для проведения оценки и прогнозирования воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду.

Большое разнообразие методов и средств оценки и прогнозирования воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду условно можно подразделить на несколько больших групп: картографические методы, метод контрольных списков, матричные методы, методы сетей, адаптивные методы и процедуры моделирования.

В данной статье сделан краткий обзор картографических методов, методов контрольных списков, матричных, сетевых и адаптивных методов, разработанных в разных странах мира. В конце статьи приведен анализ возможности применения перечисленных методов для решения задач в области охраны окружающей среды.

Картографические методы

1. Метод наложения или совмещенного анализа карт.

Это наиболее простой и наглядный метод, предложенный Мак-Харгом [1, 5, 11]. Используется набор прозрачных карт (с координатной сеткой и топографией), каждая из которых представляет пространственное распределение параметров окружающей среды (например, загрязнение воздуха). Каждая карта покрывается штриховкой, при этом локализация заштрихованных мест и густота штриховки (используют три градации густоты) показывают степень воздействия проекта на выбранный параметр. Путем совмещения отдельных карт получают суммарную картину воздействия проекта на анализируемую территорию (совмещают не более 10 карт, чтобы результирующая карта была читаемой). Эффективность метода совмещения может быть повышена при применении ЭВМ. В этом случае параметры задаются в численном виде в узлах некоторой сетки точек. В процессе анализа параметрам могут быть приданы некоторые веса в зависимости от их значимости.

В работе [4] предложена имитационная картографическая модель, состоящая из трех блоков карт: а) инвентаризационных, дающих наиболее общее представление о соотношении хозяйственных и природных объектов на исследуемой территории; б) покомпонентных (оценочных и прогнозных), предназначенных для изучения влияния хозяйственной деятельности на отдельные компоненты природной среды; в) интегральных, на которых дается оценка (в баллах) состояния природной среды в целом по изучаемой территории. Методы создания обобщающих интегральных карт основаны на совмещении ареалов изменения различных природных ресурсов и выявлении сочетаний противоречий природопользования. Легенда карты представляет собой матрицу, где по вертикали приводятся оцениваемые компоненты природной среды, а по горизонтали – природопользователи, использующие одни и те же компоненты природной среды. В результате анализа интегральных карт-сценариев путем имитационных экспериментов (проигрывания вариантов) создаются карты предложений по рациональному природопользованию в регионе.

Картографические методы обладают рядом достоинств — наглядностью представления и сравнительной простотой реализации.

2. Метод контрольных списков.

Метод разработан специалистами США [1, 11] и позволяет оценивать воздействия 78 параметров, разделенных на четыре категории (сферы): сфера экологии, физико-химическая сфера, сфера чувственного восприятия, сфера человеческой деятельности (социум). Каждому из выбранных показателей воздействия междисциплинарная группа экспертов присваивает вес способом фракционирования (1000 единиц распределяется между параметрами в соответствии с их относительной важностью). Кроме того, для каждого параметра экспертным путем строится «функция значимости», связывающая значения параметров с качеством окружающей среды. Используя функции значимости эксперты определяют разницу в нормированных значениях каждого параметра до и после воздействия. Умножив эту разницу на определенный ранее вес параметра, получают его «Индикатор воздействия», а просуммировав получают агрегированную оценку воздействия. С помощью агрегированных оценок производится сравнение альтернативных проектов. Согласование мнений экспертов при выборе весов параметров, при построении функций значимости, при прогнозировании изменений качества окружающей среды производится с помощью метода Дельфи.

Достоинством этого метода является то, что он позволяет не только идентифицировать, но и прогнозировать величину воздействия. Недостатком метода является отсутствие механизма для оценки воздействия между перечисленными в контрольном списке параметрами.

Матричные методы.

1. Матрица Леопольда.

В матрицах, которые используются при проведении оценки воздействия, два контрольных списка располагаются вдоль перпендикулярных осей, что дает возможность избежать упомянутого выше недостатка и получать качественную информацию взаимосвязях вида причина-следствие.

В матрице Леопольда по горизонтали [1, 7, 11] перечислены 100 различных действий, которые могут влиять на окружающую среду, например, сооружение плотин, переработка полезных ископаемых, полеводство, сброс сточных вод и т.д., а по вертикали — 88 характеристик качества окружающей среды (качество атмосферного воздуха, воды, ланд-

шафтный дизайн, размещение отходов, евтрофикация и т.д.). При наличии воздействия на пересечении столбца и строки проставляются два числа в интервале от 0 до 10: в числителе – для обозначения величины воздействия; в знаменателе – для обозначения значимости воздействия. Позитивные и негативные воздействия обозначаются соответственно знаками "+" и "-". С помощью Матрицы Леопольда наглядно можно отразить 8800 взаимодействий, хотя на практике число их колеблется от 25 до 50. Никакие агрегированные индексы при таком способе ОВОС не предусматриваются, поэтому при анализе альтернативных вариантов ЛПР приходится анализировать большое количество информации.

Матрицы типа матрицы Леопольда могут быть полезны для проведения оценки воздействия в крупных региональных проектах, так как они дают обобщенное, но хорошее приближение, ускоряющее всестороннее междисциплинарное рассмотрение первичных воздействий на окружающую среду. Метод не требует больших затрат ресурсов. Но отсутствие возможности прогнозирования воздействия и идентифицирования вторичного воздействия (воздействия более высокого порядка) существенно ограничивает применение методов описательных матриц.

2. Матрица Петерсона.

Процедура анализа воздействия, предложенная Петерсоном [10], включает в себя разработку двух матриц. В матрице А идентифицируется возможное воздействие 26 элементов каждого из альтернативных вариантов проекта (количество заводов без очистки и с биологической очисткой сточных вод, сельскохозяйственные угодья, энергетические установки и т.д.) на 16 параметров окружающей среды (качество поверхностных вод, воздуха, почв, биотические сообщества и т.д.). Междисциплинарная группа экспертов оценивает воздействие в баллах в интервале от -3 до 3. В матрице В в тех же величинах оценивается воздействие, которое могут оказать измененные под влиянием проекта компоненты природной среды на социальные факторы (плотность населения, здоровье, производство продуктов, уровень занятости населения и т.д. – всего 19 факторов), т.е. вторичное воздействие. Произведение этих матриц определяет воздействие элементов проекта на социальные факторы. Умножив эту матрицу на вектор весов значимости социальных факторов и просуммировав значения результирующего вектора-столбца, получают единую агрегированную оценку воздействия проекта, при этом единственной входной информацией являются субъективные оценки бригады экспертов. Низкая ресурсоемкость метода позволяет про-

водить интерактивные процедуры оценки на ранних стадиях разработки проекта и вносить необходимые изменения в проект. Положительным моментом можно считать и то, что метод позволяет дифференцировать первичные и вторичные воздействия. Вместе с тем этот метод не обеспечивает возможности прогнозирования воздействия.

3. Матрица взаимодействующих компонентов.

В этой матрице, описанной в работах [5, 8, 11], одни и те же компоненты окружающей среды перечислены по горизонтали и вертикали. Набор компонентов и их количество зависят от проекта. Там, где идентифицируются прямые зависимости, на пересечении строк и столбцов представляются единицы, т.е. в терминах сетевого анализа формируется матрица смежности [6]. Этот способ использовался для анализа пяти предполагаемых мест сооружения порта по вывозу леса [11], при этом рассматривался 21 компонент природной среды и было выявлено 120 зависимостей первого порядка. Чтобы определить число возможных зависимостей более высокого порядка между указанными компонентами, матрица смежности возводится в степень (в данном конкретном случае были исследованы зависимости вплоть до пятого порядка). Затем формируется матрица кратчайших цепей между компонентами, при этом все ячейки исходной матрицы взаимодействующих компонентов заполняются целыми числами, указывающими длину кратчайших связей, соединяющих два компонента (выраженную в числах расположенных между ними узлов). Далее формируется матрица нарушений: эксперты анализируют воздействие предполагаемого проекта на цепи зависимостей, и нарушения, которые могут произойти, классифицируются по степени в баллах от 0 до 3. Выбирается вариант, который приведет к наименьшему количеству нарушений в цепях зависимостей.

Основным недостатком этого метода является то, что он только идентифицирует воздействия, но не дает возможности определить относительную важность воздействий, так как все воздействия входят с одинаковым весом. В то же время метод дает возможность идентифицировать воздействия более высоких порядков.

Таким образом, с помощью матриц можно четко идентифицировать только наличие связей (первичных или более высоких порядков) между компонентами природной среды. Направление же связей между воздействиями, а тем более, количественное выражение воздействия в каждом направлении получить нельзя. Для исследования направленных воз-

действий, воздействий более высоких порядков используются направленные диаграммы, называемые сетями.

Одним из наиболее ранних и известных способов для исследования направленных воздействий является ступенчатая матрица, разработанная Соренсеном [5, 8, 11] для оценки влияния различных вариантов использования земель на побережье Калифорнии. Этот метод позволяет проследить за динамикой воздействий и наглядно показывает не только направление, но и сущность связей разного порядка между компонентами природной среды. Но, как правило, из-за сложности и громоздкости применение данного метода ограничено третьим порядком взаимодействий. Воздействия в этом методе численно не оцениваются, поэтому он не применим для прогнозирования и сравнения проектных альтернатив.

В отличие от ступенчатой матрицы в сетевой диаграмме, основанной на энергетических сетевых методах [8, 11], компоненты природной среды соединяются сплошными линиями, определяющими направление потоков энергии между компонентами и их величину, выраженную в джоулях, децибелах или кюри. Преимуществом этого способа является возможность оценки большого числа воздействий в одинаковых единицах.

Статистические методы.

В работе [5] в качестве анализа обширной статистической и расчетной информации о состоянии загрязнения природной среды использовался факторный анализ. С его помощью проведено сжатие информации, т.е. выявлено небольшое число показателей-факторов, характеризующих основные направления воздействия. Выполнен расчет интегральной оценки интенсивности хозяйственной нагрузки на природную среду и сделана типология исследуемых территориальных единиц по направлениям и уровням хозяйственного воздействия. Взаимодействие природы и хозяйства рассматривалось в рамках природно-хозяйственных единиц (районов). Факторный анализ осуществлялся на базе матрицы исходных параметров размером 37×79 (37 показателей по 79 административным районам). Из совокупности оценочных показателей выделено два вида: 1) показатели потенциальной нагрузки (плотность населения, урбанизированность территории и т.д.); 2) показатели, отражающие прямое воздействие на природные комплексы, или показатели прямой нагрузки (выбросы вредных веществ от различных источников, распаханность территории и т.д.). Величина каждого показателя относилась к площади администра-

тивного района для того, чтобы получить значение плотности нагрузки на кв. м его территории.

Математический аппарат факторного анализа выявляет лишь степень общности порайонного варьирования показателей. Вопрос же о характере общности, т.е. о том является ли связь между показателями причиной или случайной, решается на основе знаний об изучаемом явлении и конкретной территории, на которой оно проявляется. При расчетах использовались различные наборы показателей, заданное и произвольное число факторов.

В результате для оценки хозяйственного воздействия выбран вариант, содержащий пять факторов, вклад которых в интегральную нагрузку оценивается с помощью весовых коэффициентов, выбранных в соответствии со следующими критериями: 1) число компонентов природной среды, подвергаемых воздействию; 2) масштаб распространения воздействия; 3) наличие токсичных загрязнителей природной среды. На основе факторного анализа разработана типология хозяйственного воздействия и проведено —оценочное районирование по характеру и уровню экологической нагрузки.

Адаптивные методы.

Адаптивные методы представляют не только общий подход к анализу воздействий, но также включают элемент принятия решений, основанный на анализе воздействия. Основная идея этих методов состоит в том, что оценки воздействия должны входить составной частью в процесс проектирования, а не производиться после того, как стадия проектирования завершена.

1. Метод Сондхейма.

При разработке этого метода основное внимание концентрировалось на следующих моментах:

- а) возможность легко перебирать проектные альтернативы;
- б) возможность гибкого включения в проектные альтернативы различных компонентов природной среды;
- в) выделение субъективных компонентов исследования, возможность включения мнения общественности;
- г) легкость повторной оценки, включающая возможность внесения изменений в индивидуальное шкалирование, взвешивание и другие типы оценки;

тивного района для того, чтобы получить значение плотности нагрузки на кв. м его территории.

Математический аппарат факторного анализа выявляет лишь степень общности порайонного варьирования показателей. Вопрос же о характере общности, т.е. о том является ли связь между показателями причиной или случайной, решается на основе знаний об изучаемом явлении и конкретной территории, на которой оно проявляется. При расчетах использовались различные наборы показателей, заданное и произвольное число факторов.

В результате для оценки хозяйственного воздействия выбран вариант, содержащий пять факторов, вклад которых в интегральную нагрузку оценивается с помощью весовых коэффициентов, выбранных в соответствии со следующими критериями: 1) число компонентов природной среды, подвергаемых воздействию; 2) масштаб распространения воздействия; 3) наличие токсичных загрязнителей природной среды. На основе факторного анализа разработана типология хозяйственного воздействия и проведено оценочное районирование по характеру и уровню экологической нагрузки.

Адаптивные методы.

Адаптивные методы представляют не только общий подход к анализу воздействий, но также включают элемент принятия решений, основанный на анализе воздействия. Основная идея этих методов состоит в том, что оценки воздействия должны входить составной частью в процесс проектирования, а не производиться после того, как стадия проектирования завершена.

1. Метод Сондхейма.

При разработке этого метода основное внимание концентрировалось на следующих моментах:

- а) возможность легко перебирать проектные альтернативы;
- б) возможность гибкого включения в проектные альтернативы различных компонентов природной среды;
- в) выделение субъективных компонентов исследования, возможность включения мнения общественности;
- г) легкость повторной оценки, включающая возможность внесения изменений в индивидуальное шкалирование, взвешивание и другие типы оценки;

д) возможность использования интегрального и относительного шкалирования вместо обычно применяемого ординарного шкалирования.

При реализации методики создаются три специальные группы: 1) координационный центр; 2) группа «рейтингов»; 3) группа взвешивания.

В обязанности координационного центра входит: рассмотрение всех реалистических проектных альтернатив, включающих различные комбинации планов, проектов и размещений, которые могут быть утилизированы; определение окружающей среды как функции n независимых или квазизависимых аспектов, т.е.:

$$OC = f(a_1, a_2, \dots, a_n), \quad (1)$$

где каждый из n аспектов отражает ту или иную грань окружающей среды. Среди аспектов могут быть биологические, физические, химические, климатические, социальные, экономические факторы, каждый из которых следует определять четко, хотя и необязательно жестко.

Формирование «взвешивающей группы», которую входят представители правительственных, общественных, промышленных кругов. Люди, входящие в эту группу, являются экспертами и предполагается, что они ознакомлены с предлагаемыми проектами.

Каждый из членов группы рейтинга является специалистом по одному из n аспектов окружающей среды и рассматривает воздействие каждого из m альтернативных вариантов проекта на данный аспект. Для оценки воздействия может быть использован любой из представленных выше методов. Таким образом, формируется матрица рейтингов размерностью $m \times n$. Далее каждый из членов группы взвешивания оценивает каждый из n аспектов окружающей среды в баллах на интегральной или относительной шкале, т.е. ситуация аналогичная той, которая используется в группе рейтинга, но оценки в данном случае сугубо субъективны, никакие объективные процедуры для оценивания не используются. Результатом является матрица весовых оценок размером $m \times u$, где u – число членов группы взвешивания. Полученные матрицы умножаются. Матрица, полученная в результате умножения, стандартизируется и сокращается до вертикальной матрицы путем умножения по строкам. Затем производится ранжирование в порядке убывания сумм, т.е. в порядке предпочтительности проектов.

Метод позволяет сразу рассматривать любое количество проектных альтернатив, гибко согласовывать оценки, которые даются группой рейтингов, с весами, определенными группой взвешивания. При этом координационный центр должен следить за тем, чтобы оценки группы взвешивания

шивания не превалировали над оценками группы рейтингов и разделять объективные и субъективные оценки.

Недостатком данного метода является то, что при разработке схемы рейтингов не налагается никаких условий на интерактивные взаимосвязи, что не дает возможности определить синергетические моменты в рассмотренных природных компонентах.

2. *Анализ решений.*

Этот способ оценки воздействия применяется в том случае, когда рассматриваемый проект должен удовлетворять нескольким критериям (например, нужно минимизировать негативные социально-экономические эффекты, максимизировать безопасность населения, минимизировать отрицательные экологические эффекты). В – классической постановке это задача многокритериальной оптимизации (исследования операций). В ряде случаев критерии, по которым проводится оптимизация, могут быть представлены в стоимостной форме [2]. При этом многие факторы, которые не имеют стоимостного эквивалента, остаются неучтенными.

Для решения подобных задач американскими учеными был разработан метод, получивший название «анализ решений». В основу этого метода положено применение «функции полезности». Суть метода состоит в том, что с помощью специальных процедур разнородные свойства объекта оцениваются единым измерителем – полезностью [2, 10]. Функции полезности каждого из критериев определяются с помощью специальным образом формализованных процедур бригадой экспертов. Эти же процедуры позволяют включить в оценки вероятности достижения тех или иных целей (степень неопределенности и риска). Показателем предпочтительности того или иного варианта является многокритериальная функция полезности:

$$U(x) = \sum U(x_i) \cdot P(x = x_i), \quad (2)$$

где $U(x_i)$ – функция полезности по отдельным критериям, $P(x=x_i)$ – вероятности достижения целей по этим критериям.

Возможность учета неопределенности и степени риска при достижении целей, хорошо формализованные процедуры работы с экспертами, которые позволяют не только прогнозировать воздействия, но и давать рекомендации по достижению поставленных целей, являются несомненными достоинствами данного метода. Рассмотренный метод нашел применение в странах бывшего СНГ при разработке рекомендаций по выбору площадок для размещения атомных станций [2].

3. *Метод Холлинга.*

В основу рассматриваемого метода положен системный подход, опирающийся на междисциплинарные исследования. Работа междисциплинарной группы начинается со «взгляда наружу», процесс которого аналогичен работе с матрицей взаимодействий и должен ответить на вопрос: что необходимо знать о других подсистемах, чтобы предсказать, как будет себя вести некоторая конкретная подсистема.

Как промежуточные, так и конечные результаты работы междисциплинарной группы должен быть применим к задачам оценки и управления. Анализ проблемы начинается с выяснения организованной структуры принятия решений. По сути дела осуществляется прогнозирование воздействия, но предсказание воздействия не является самоцелью, и оценка воздействия сливается с управлением окружающей средой (при этом учитывается влияние неопределенности и изменчивости на функционирование экологических систем). Чтобы успешно сосуществовать с неопределенностью в процессе управления окружающей средой, нужно быть постоянно готовым к быстрому реагированию на изменения, т.е. управление должно быть адаптивным.

Таким образом, все рассмотренные методы позволяют количественно выразить воздействие с помощью бальных оценок, интервальных или количественных шкал, функций полезности и т.д. Но сточки зрения количественного выражения воздействия наиболее предпочтительным является метод сетевых диаграмм, позволяющий определять большое число воздействий в одинаковых единицах (потоках энергии).

Каждый из рассмотренных способов имеет свои достоинства и свои недостатки. Возможность же использования каждого из методов должны рассматриваться в контексте конкретных природоохранных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вторжение в природную среду. Оценка воздействия /Пер. с англ. А.Ю. Ретеюма. – М.: Прогресс. - 1983. – 193 с.
2. Лакомова О.В. Применение метода «анализа решений» для оптимизации: перспективы развития, проблемы прогнозирования. –М., 1988. - С. 80 - 120.
3. Молочко А.Н. Методические особенности создания и использования карт суммарных бальных оценок // В кн.: Географические аспекты рационального природопользования. – Киев: Наукова думка, 1987. – С. 113 - 117.

4. Нефедова Т.Г. Имитационная картографическая модель влияния хозяйства на природную среду (опыт разработки) //Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1986. - № 2. – С. 114 - 127.
5. Семенова Л.А. Зарубежный опыт оценок воздействия на природную среду//В кн.: Географическое обоснование экологических экспертиз. М.: Изд-во МГУ, 1985. – С. 17 - 32.
6. Филипс Д.Т., Гарсия-Диас А. Методы анализа сетей. –М.: Мир, 1984. – 496 с.
7. Экологические системы. Адаптивная оценка и управление/ Под ред. К.С. Холлинга. - М.: Мир, 1981. – 397 с.
8. Bisset R. Methods for Environmental Impact Analysis// Journal of Environmental Management. - 1980. - vol. 11. - №1. - P. 27 - 43.
9. Kiely-Brokato K.A., Byhyoff G.I., Leusher W.A. An attitude scaling system with relevance for resource management// Journal of Environmental Management. - 1980. - Vol. 10. - №1. - P. 71 - 81.
10. Peterson G.L., Gemmel R.S., Schofer J.L. Assessment of environmental impact: Multidisciplinary judgments of large-scale projects/ Ekistics. - 1974. - Vol. 218. - P. 23 - 30.
11. Shoply J.B., Fyggle A. Comprehensive review of current environmental impact assessment method and technigues//Journal of Environmental management. - 1984. - Vol. 18. №1. - P. 25-47.

Казахский государственный национальный университет им. аль-Фараби

**ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГ МӘЛІМЕТТЕРІ БОЙЫНША
ШАРУАШЫЛЫҚ ҚЫЗМЕТТІҢ ҚОРШАҒАН ОРТАҒА ТИГІЗЕТІН
ӘСЕРІН БАҒАЛАУ ЖӘНЕ БОЛЖАУ ӘДІСТЕРІ**

Геогр. ғылымд. канд. И.Н. Шмарова

Геогр. ғылымд. канд. Г.К. Турулина

Мақалада әлемнің әр елдерінде жасалған шаруашылық қызметтің қоршаған ортаға тигізетін әсерін бағалау және болжау әдістерінің қысқаша шолуы берілген. Оларды қоршаған ортаны қорғау саласындағы міндеттерді орындау үшін қолдану мүмкіндігі талданған.