

# РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИЙ

**В. П. Белогуров**

Кандидат технических наук, доцент  
Научно-технический центр ЭкоГИС  
Оперативно-спасательная  
служба г. Харькова  
пер. Театральный, 12,  
г. Харьков, Украина, 61002  
E-mail: v.belogurov@gmail.com

*Екологічний стан територій традиційно оцінюється шляхом визначення придатності до одного з класів кожного з переліку індикаторних показників стану геосфер. Методологія відрізняється тім, що оцінки розподіляються по класах рівномірно, але з урахуванням принципів нормування та закону Лібиха; інтегрована оцінка розраховується відповідно до гіпотези про логістичний характер зміни стану екосистеми*

*Ключові слова: екологічний стан, геосфери, інтегральна оцінка, індикаторні показники, простір стану, ГИС-технології*

*Экологическое состояние территорий традиционно оценивается путем определения принадлежности к одному из классов каждого из перечня индикаторных показателей состояния геосфер. Разработанная методология отличается тем, что оценки распределяются по классам не равномерно, а с учетом принципов нормирования и закона Либиха; интегральная оценка вычисляется в соответствии с гипотезой о логистическом характере изменения состояния экосистем*

*Ключевые слова: экологическое состояние, геосферы, интегральная оценка, индикаторные показатели, пространство состояний, ГИС-технологии*

## 1. Введение

Определение количественной меры (интегральной, обобщенной, генерализованной оценки) в пространстве состояний свехсложной системы «окружающая человека природная среда» привлекает внимание многих исследователей. Эта задача в связи с многообразием исходных показателей и неопределенностью закономерностей «нагрузка (воздействие) – отклик (влияние)» является сложной и вряд ли до конца разрешимой. Поэтому она решается поэтапно: общий перечень наиболее важных для оценки экологического состояния показателей (индикаторов) определены в документах US EPA и ЕЭК ООН [1]; количество классов на всем диапазоне изменения индикаторов и характеристики каждого класса сформулированы в документе Водная Рамочная Директива ЕС [2]. Определение логической организации, методов и средств преобразования измеренных значений индикаторов в обобщенную оценку экологического состояния актуально и является предметом этой статьи.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Можно выделить два принципиально различных подхода к оцениванию. Первый – экспертный, при котором группа квалифицированных специалистов на основе изучения множества исходных данных находит некоторое общее решение задачи. Примером такого подхода является канадская система GLASOD

[3], которая содержит базу данных с обобщенными оценками деградации почв по всему миру. К такому подходу следует отнести также разработки, которые в качестве интегральных характеристик принимают некоторые специально разработанные авторские показатели. Эти показатели, как правило, не являются общепризнанными и не имеют нормативного обеспечения, которое необходимо для установления границ между плохими и хорошими, удовлетворительными и катастрофическими классами состояний. Примерами этого являются оценки экологического влияния и биологической продуктивности Земли в «глобальных» гектарах» Международного фонда охраны дикой природы WWF [4] или оценки антропоэкологического риска и эколого-экономического районирования территорий В. А. Барановского [5].

Другой подход можно назвать компьютерным. Здесь исследуемые регионы ранжируются по каждому из множеств исходных показателей и характеристик. Затем эти ранги, рейтинги, оценки каким-либо образом суммируются по множеству показателей, зачастую со специальными весами, коэффициентами, нормирующими множителями. В результате такого суммирования получается обобщенный индекс, значения которого характеризуют состояние окружающей природной среды в каждом из этих регионов одним числом. Однако такие индексы оценивают регионы не в абсолютной шкале состояний (от очень хорошего до катастрофического), а друг относительно друга, путем определения места региона в последовательности ухудшающихся (улучшающихся) оценок состояния окружающей природной среды [6, 7].

Следует признать, что в настоящее время нет общепризнанной методологии, ориентированной на получение экологических оценок в сфере экологической безопасности [8] и природопользования. Проблема состоит в том, чтобы объединить компьютерные методы расчетов с определением оценок в абсолютной шкале состояний, причем использовать для этого не только экспертов, но и принципы, законы, гипотезы экологической теории [9].

---

### 3. Цель и задачи исследования

---

Целью исследования является определение методологии, то есть структуры, закономерностей, методов и средств оценивания экологического состояния территорий. Разрабатываемая методология должна обеспечить:

- 1) объективное вычисление интегральных оценок путем расчетов по официальным данным государства (например по данным ежегодных отчетов каждой из стран ООН);
- 2) детальное структурирование процедуры расчетов, позволяющее проследить за вкладом каждого индикатора в общую оценку;
- 3) использование для оценивания закономерностей экологической теории (с минимизацией участия экспертов);
- 4) пригодность интегральных оценок для управления, например, с помощью выделения целевого финансирования мероприятий на улучшение именно тех показателей, которые являются критическими с точки зрения перехода экологического состояния исследуемой территории из одного класса в другой, – худший, приближающий эту территорию к зоне экологического бедствия.

---

### 4. Структура, закономерности, методы и средства оценивания

---

Окружающая природная среда рассматривается как сложная динамическая система. В кибернетике состояние любых динамических систем характеризуется так называемым пространством состояний, которое определяется как «пространство, каждая точка которого (т. н. отображающая точка) однозначно отвечает истинному состоянию динамической системы. При этом каждое состояние рассматривается как точка в некоторых обобщенных координатах. Каждому процессу изменения состояния системы (ее движению в этих координатах) отвечает определенная траектория перемещения отображающей точки в пространстве координат». Для отображения состояния систем, имеющих распределенные параметры в пространстве, необходимо иметь пространство с безграничным количеством координат. Поэтому для отображения состояния окружающей природной среды необходимо использовать обобщенные данные, которые относятся к определенному промежутку времени и определенной территории: индексы, комплексные и интегральные показатели, полученные вследствие обобщения по множеству наблюдаемых (измеряемых) параметров.

Общая интегральная оценка состояния окружающей человека природной среды формируется из интегральных оценок составляющих геосфер, таких как атмосфера, гидросфера, литосфера и биосфера. Для определения интегральной оценки экологического состояния по каждой из составляющих разработана система индикаторных показателей (индикаторов, Environmental Indicators) [1], каждый из которых характеризует определенный аспект количественных или качественных характеристик. В качестве индикаторных показателей выбираются наиболее представительные из всего многообразия величин, используемых для оценки экологического состояния в нормативных документах и научных исследованиях. При этом следует учитывать, что оси координат в пространстве состояний должны быть ортогональны, что исключает возможность появления эффекта «двойного счета», связанного с использованием взаимосвязанных и взаимозависимых показателей в качестве индикаторов. Индикаторными показателями могут быть также обобщенные оценки (индексы качества воды и атмосферы, коэффициенты загрязненности), интегрально оценивающие качество среды, которое характеризуется многими ингредиентами. Обязательным требованием к составу индикаторных показателей является его полнота, т. е. всесторонний охват различных аспектов состояния всех четырех составляющих окружающей человека природной среды: атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы. Для полноценной оценки состояния каждой из этих геосфер также обязательным является требование полноты отображения всех аспектов состояния природы: качественных и количественных характеристик, возможности использования как природного ресурса и безопасности для человека. Весь диапазон изменения каждого из индикаторных показателей разбивается на пять поддиапазонов, которые называются классами и характеризуются числами (баллами) от 1 до 5. Количество классов состояния окружающей природной среды и принципиальные характеристики каждого класса отвечают концептуальному подходу, изложенному в документе Водная Рамочная Директива ЕС [2]. Класс 1 соответствует хорошему экологическому состоянию, 2 – удовлетворительному, 3 – неудовлетворительному, 4 – плохому и 5 – очень плохому состоянию. Границы между классами и правила отнесения состояния окружающей природной среды к определенному классу отвечают законам, принципам, правилам и гипотезам экологической науки и существующим нормативным документам по вопросам нормирования требований к составляющим состояния окружающей природной среды. Их значения, разделяющие все пространство состояний окружающей природной среды на классы качества, определяются по следующим принципам. Класс 1 соответствует нормативному состоянию окружающей природной среды. Его верхней границей являются значения предельно допустимых концентраций (ПДК). Состояние окружающей природной среды относится к 1 классу в том и только в том случае, если все ее составляющие без исключения относятся только к 1 классу. Верхняя граница 5 класса является предельно недопустимой концентрацией, превышение которой приводит к экологическому кризису, чрезвычай-

чайной ситуации, заболеваниям, эпидемиям или эпизоотиям, летальному исходу. При определении этой границы была использована система показателей, разработанная и утвержденная в Российской Федерации [10]. Промежуточные границы являются менее строгими (критичными), чем верхняя и нижняя. Для их определения используются нормативные документы (если таковые имеются для данного индикатора) либо научные исследования и рекомендации [11].

При таком подходе интегральные оценки имеют не относительный, а абсолютный характер, когда интегральная оценка определяется объективными результатами мониторинга в определенном регионе и не зависит от его места относительно других регионов. Особое значение имеют также правила перехода из одного класса в другой при достижении им отдельными показателями границ класса. Эти правила должны учитывать известный закон минимума Ю. Либиха [9], согласно которому наибольший вес имеет ближайший к границе фактор (минимум-фактор). Кроме того, полезно было бы знать общую зависимость, в соответствии с которой можно определить соотношение границ между классами для отдельных индикаторных показателей. Гипотеза о характере такой зависимости для охраны вод от загрязнения была высказана в работе [12]. Поскольку эта гипотеза за более чем пятнадцатилетний период не встретила возражений и, учитывая, что она не противоречит законам, правилам и принципам экологии [9], а также опираясь на мнение автора учебника по геоэкологии Г. Н. Голубева [13] о пригодности логистической кривой для аппроксимации всех сложных систем, именно она и была положена в основу общего характера зависимости экологического влияния какого-либо фактора (индикаторного показателя) от соответствующего антропогенного воздействия. Основные черты предлагаемой зависимости: при малых воздействиях на экосистему ее реакция непропорционально мала (благодаря адаптации), затем влияние пропорционально воздействию и, наконец, при очень сильных воздействиях, разрушающих экосистему, их дальнейшее увеличение уже мало влияет на процесс деградации. Такой характер зависимости хорошо описывается так называемой логистической кривой, форма которой приведена на рис. 1 [14].

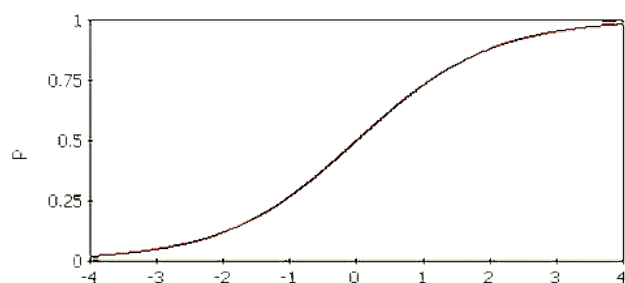


Рис. 1. Форма логистической кривой: ось абсцисс — шкала воздействий (нагрузок на экосистему), ось ординат — шкала влияния (отклика экосистемы)

Следует отметить, что такая зависимость уже использовалась для оценки риска при чрезвычайных

экологических ситуациях, при изучении влияния освещенности на рост растений и в других ситуациях. Аппроксимация зависимости «воздействие – влияние» логистической кривой была использована автором в предлагаемой методологии интегрального оценивания состояния окружающей человека природной среды.

Результаты интегральной оценки состояния окружающей природной среды и ее составляющих следует подавать в виде тематических географических карт с пояснительным текстом и таблицами количественных данных. Для разработки тематических карт использована технология географических информационных систем (ГИС-технология). Наиболее пригодным для этого является программное обеспечение ГИС производства фирмы ESRI (USA): ArcView или ArcGIS. Среди этих разновидностей ГИС вторая более предпочтительна, поскольку она позволяет осуществить проверку корректности исходных данных с помощью модуля Geostatistical Analyst. Такая процедура для экологической информации является обязательной, поскольку практика работы даже с официальными документами свидетельствует о наличии в них большого количества данных, не соответствующих друг другу. А в докладе WWF [2] записано: «Не было возможности установить доверительные границы этому индексу из-за неуверенности в данных о популяциях, положенных в его основу».

## 5. Оценка и обсуждение экологического состояния территории Украины

Интегральная оценка состояния окружающей среды областей Украины была выполнена в УкрНИИ экологических проблем на основании ежегодных государственных отчетов по охране окружающей природной среды за 2003, 2004 и 2007 гг. Полученные результаты приведены в табл. 1 и на рис. 2–4.

Общий итог кратко можно сформулировать следующим образом. Состояние окружающей природной среды в Украине находится в промежутке между «неудовлетворительным» третьим классом и «плохим» четвертым. Из четырех географических сред (атмосфера, гидросфера, литосфера и биосфера) наихудшее состояние (класс 4, предпоследний из 5) имеет литосфера. Это обусловлено, прежде всего, высоким уровнем деградации земель, большим количеством отходов и чрезвычайно низким уровнем их переработки и утилизации. Высокий уровень деградации земель в Украине подтверждается также данными международной базы данных GLASOD, приведенными на рис. 5: Украина имеет наихудший рейтинг деградации земель среди всех стран, имеющих с ней общую границу.

Среди областей наихудшее состояние окружающей природной среды наблюдается в Донецкой области, имеющей пятый, наихудший класс, граничащий с экологическим кризисом, и Днепропетровской области, экологическое состояние которой вплотную приблизилось к пятому классу. Удовлетворительное состояние отмечается в пяти областях Украины: Закарпатской, Ивано-Франковской, Ровенской, Тернопольской и Черновицкой.

Таблица 1

Классы экологического состояния территории Украины

Области	Атмосфера	Гидросфера	Литосфера	Биосфера	Природная среда в целом
АР Крым	2	5	4	4	4
Винницкая	3	3	2	4	3
Вольнская	1	3	3	3	2
Днепропетровская	4	4	4	5	4
Донецкая	5	5	3	4	5
Житомирская	2	3	4	4	3
Закарпатская	1	2	2	3	2
Запорожская	4	4	2	4	3
Ивано-Франковская	3	2	2	2	2
Киевская*	4	3	4	4	4
Кировоградская	2	3	2	5	3
Луганская	4	4	3	4	4
Львовская	3	3	2	3	3
Николаевская	3	4	3	4	3
Одесская	3	4	3	4	3
Полтавская	3	2	3	4	3
Ровенская	1	3	4	3	3
Сумская	2	3	2	3	2
Тернопольская	2	2	3	4	2
Харьковская	3	4	2	5	3
Херсонская	2	4	3	4	3
Хмельницкая	2	3	3	4	3
Черкасская	3	3	3	4	3
Черновицкая	2	2	2	4	2
Черниговская	2	2	2	4	3
Украина в целом	3	3	4	3	3



Рис. 2. Зоны загрязнения атмосферного воздуха и интегральная оценка состояния атмосферы Украины

Наличие интегральных оценок состояния окружающей природной среды, основанных на официальных данных и действующей нормативно-правовой базе, позволяет определять стратегию и тактику природоохранной деятельности в областях. Так, например, в Сумской области целью природоохранного управления может стать поддержание того удовлетворительного состояния, которое там имеется в настоящее время (при одновременном усилении внимания к индикаторам, которые характеризуют наличие пестицидов в сельскохо-

зяйственных землях и плохое управление отходами). В противоположность этому в Донецкой области стратегией охраны природы должна стать стабилизация или хотя бы некоторое улучшение окружающей природной среды, которое приближается к кризисному состоянию. В Одесской области наибольшую опасность вызывает соотношение водопотребления с наличием водных ресурсов (класс 5). При этом обязательным является строгое ограничение водопотребления при стимулировании мер по его уменьшению.



Рис. 3. Интегральная оценка состояния гидросферы Украины



Рис. 4. Интегральная оценка состояния литосферы Украины

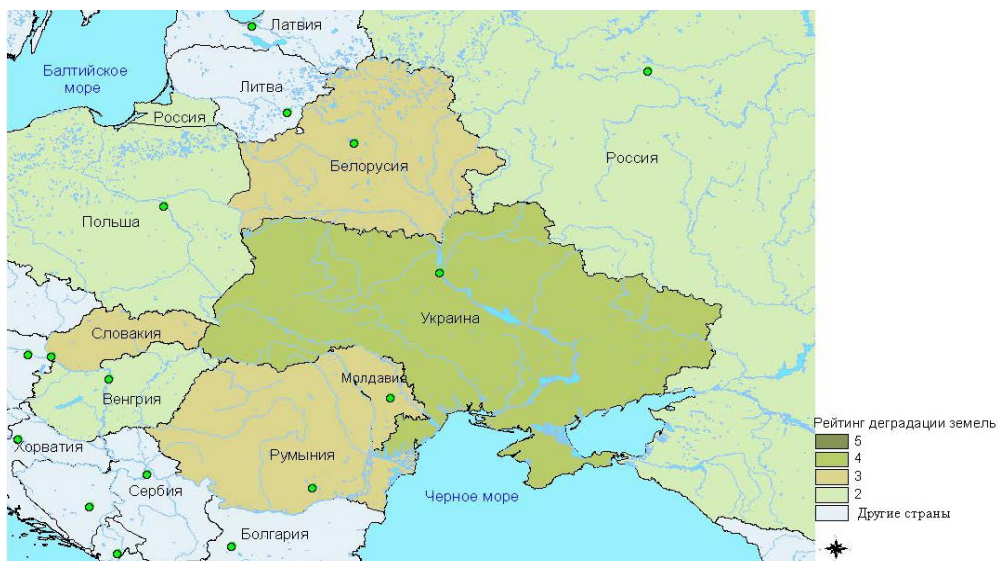


Рис. 5. Рейтинг деградации земель стран-соседей Украины

Таким образом, разработка и использование интегральных показателей состояния окружающей человека природной среды позволяет не только получать интересную обобщающую информацию, но и делать выводы, связанные с определением стратегии и тактики природоохранной деятельности по областям Украины и по стране в целом, а также проводить сравнительную оценку результатов этой деятельности с другими странами.

---

## 6. Выводы

---

1. Предлагаемая методология отличается тем, что оценки распределяются по классам не равномерно, а с учетом принципов нормирования и закона Либиха; интегральная оценка вычисляется в соответствии с гипотезой о логистическом характере изменения состояния экосистем.

2. Методология позволяет определять интегральные оценки объективно (без участия экспертов) путем расчетов по официальным данным (ежегодных отчетов стран) с помощью детально структурированной процедуры, позволяющей проследить за вкладом каждого индикатора в общую оценку.

3. Результаты оценивания экологического состояния территорий представляются с помощью ГИС-технологий в виде карт и атрибутивных таблиц по геосферам, для территории в целом и для составляющих ее регионов.

4. Приведенные в статье оценки экологического состояния областей Украины и страны в целом представляют интерес не только как обобщенная характеристика окружающей человека природной среды, но пригодны для управления в сфере экобезопасности и природопользования.

---

## Литература

1. Мониторинг и оценка среды. Восточная Европа, Кавказ и центральная Азия [Текст] / G.V.E/R.04.0.3 United Nations, 2003.
2. Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза №2000/60/EC от 23 октября 2000 года [Текст] / Водная Рамочная Директива ЕС, 2000. – 196 с.
3. Global Assessment of Human Induced Soil Degradation (GLASOD) [Text] / Users Guide to the GLOBAL DIGITAL DATA-BASE, 1991. – 230 p.
4. Living Planet Report 2006. WWF International [Electronic resource] / Gland, Switzerland, 2007. – Available at: [www.panda.org/livingplanet](http://www.panda.org/livingplanet)
5. Барановський, В. А. Екологічна географія і екологічна картографія [Текст] / В. А. Барановський. – К.: Фітосоціоцентр, 2001. – 252 с.
6. Экологический атлас Ростовской области [Текст] / под ред. В. Е. Закруткина. – Ростов-на-Дону. Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. – 120 с.
7. Екологічний Атлас Харківської області [Текст] / Х: МОНОАП. – Майдан, 2001. – 80 с.
8. Мищенко, Л. В. Методология, методы организации и проведения экологического аудита территорий (карпатский регион) [Электронный ресурс] / Л. В. Мищенко. – Режим доступа : [www.info-library.com.ua/libs/stattya/2686-metodologija-metodi](http://www.info-library.com.ua/libs/stattya/2686-metodologija-metodi)
9. Реймерс, Н. Ф. Экология: теории, законы, правила, принципы и гипотезы [Текст] / Н. Ф. Реймерс. – М.: Россия молодая, 1994. – 367 с.
10. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия [Текст] / М.: Минприроды РФ, 1992. – 51 с.
11. Земельные ресурсы Украины [Текст] / под ред. В. В. Медведева, Т. М. Лактионовой. – Киев. Аграрная наука, 1998. – 318 с.
12. Белогулов, В. П. Две разновидности экологических норм. В сб.: Методология экологического нормирования. Ч. 1 [Текст] : тез. докл. Всес. конф. / В. П. Белогулов. – Харьков: ВНИИВО, 1990. – С. 8–9.
13. Голубев, Г. Н. Геоэкология [Текст] : уч. для ВУЗов / Г. Н. Голубев. – М.: ГЕОС, 1999. – 338 с.
14. Дедю, И. И. Экологический энциклопедический словарь [Текст] / И. И. Дедю. – Кишинев: Молд. Сов. Энцикл., 1989. – 406 с.