

**ТЕОРИЯ ПРОБЕЛОВ В ЗНАНИЯХ
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПРАКТИЧЕСКОМУ РЕШЕНИЮ
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

Рассматривается классификация и анализ так называемых «пробелов» в знаниях о функционировании экологических систем, а также способы и методы ликвидации этих пробелов при использовании конкретных методик для решения практических задач. Теория «пробелов» в знаниях помогает объединить усилия теоретиков и практиков в исследовании и анализе экологических проблем.

Сложившуюся к настоящему времени ситуацию с применением на практике теоретических исследований в области экологии можно считать достаточно парадоксальной. С одной стороны, теоретиками разработано большое количество математических моделей, при создании которых сделаны попытки по возможности более объективного отражения той или иной существующей в природе экологической закономерности. С другой стороны, решение многих практических вопросов охраны окружающей природной среды сводится математиками с точки зрения их постановки задачи к поиску оптимального варианта в условиях неопределенности и риска. Это означает, что на практике мы не всегда можем получить решение в виде точного числа. Например, экологов-практиков интересует, насколько превысит нагрузка на экосистему допустимую. В этом случае для экологов-практиков важен именно точный ответ. Где же выход из сложившейся ситуации? На наш взгляд, примирить интересы теоретиков и практиков, работающих в экологической области, способна теория «пробелов» в знаниях о функционировании природных систем. Термин «пробелы» в знаниях используется в рамках этой статьи как наиболее близкий по своему смысловому значению термину «Kenntnissluecken», применяемому немецкими учеными, сформулировавшими основные положения этой теории [1].

Общая концепция теории сводится к тому, что «пробелы» — это камень преткновения для практиков и серьезная, требующая своего решения задача для теоретиков. Для начала теоретикам и практикам следует признать объективность существования «пробелов», далее при решении конкретных задач — постараться закрыть эти «пробелы», предварительно определив природу их происхождения.

Чем же объясняют существование «пробелов» теоретики? Во-первых, как они считают, все предлагаемые в рамках естественнонаучных теорий знания не носят универсального характера, а подтверждаются лишь ограниченным числом натуральных наблюдений. Эти знания представляют собой информацию о конкурирующих гипотезах, об их качестве, возможностях проверки и о спектре их применения. Во-вторых, в экологической практике реально существуют проблемы измерений наблюдаемых параметров, что приводит в отдельных случаях к нестыковке результатов измерений, выполненных различными авторами в разное время и по отличающимся друг от друга методикам. В теории «пробелов» за объяснением природы их происхождения следуют рекомендации по ра-

боте с ними. Оказывается, что все «пробелы» в знаниях можно классифицировать. Эта классификация в определенной степени помогает выявить их генезис, что, в конечном счете, способствует ликвидации конкретного «пробела» в знаниях.

Остановимся подробнее на этой классификации. Первая достаточно большая группа — это «пробелы» в знаниях, которые носят неизбежный характер. Поэтому алгоритм закрытия таких «пробелов» сводится к определенной последовательности действий. При экологических прогнозах все утверждения о функционировании экологических систем обязательно содержат вероятностные составляющие, а все оценки по воздействию разного рода факторов на экологические системы должны включать такой показатель, как степень экологического риска. Эти риски выявляются в ходе предварительных экологических исследований, после чего они оцениваются количественно. В дальнейшем показатели степени экологического риска включаются во все возможные процедуры оценки состояния окружающей среды и прогноза ее изменения вследствие реализации тех или иных техногенных мероприятий. Таким образом, введение показателя экологического риска позволяет закрыть неизбежный «пробел» в знаниях о функционировании экологических систем.

Приведем конкретный пример ликвидации такого «пробела» на основе практического использования метода экологического риска [2]. Существует методика определения риска на стадии оценки воздействия на окружающую среду воднотранспортного объекта, под которым понимается, например, канал или шлюз. Схема алгоритма, на основе которой могут быть выполнены конкретные вычисления показателя степени экологического риска, приведена на рис. 1.

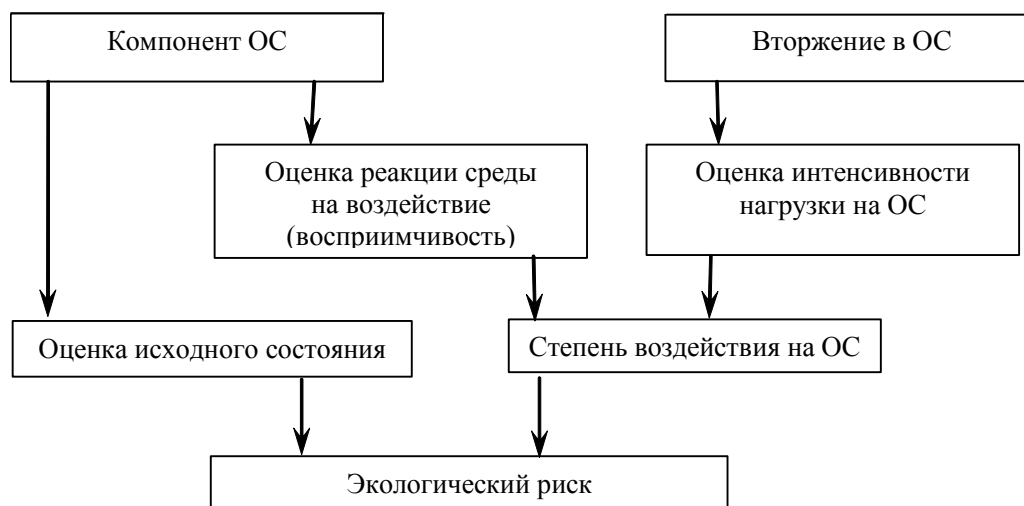


Рис. 1. Схема алгоритма определения экологического риска

Процедура оценки экологического риска применительно к воднотранспортному объекту разбивается на ряд этапов. Вычисления сводятся к формированию нескольких исходных матриц, а затем к последовательному выпол-

нению операций над ними. При этом в вычислениях используются следующие матрицы:

$\|I\|$ — матрица интенсивности нагрузки;

$\|R\|$ — матрица реакций среды, здесь $R = f_1(S)$, где S — восприимчивость среды к нагрузке;

$\|A\|$ — матрица степени воздействия на среду;

$\|B\|$ — матрица исходного состояния среды, здесь $B = f_2(S)$, где S — восприимчивость среды к нагрузке;

$\|E\|$ — матрица экологических рисков.

Итоговый результат расчетов представляется в виде шкалы экологических рисков. Подробнее методика изложена в работе [2].

Вернемся теперь к теории «пробелов» в знаниях. Следующая достаточно большая группа «пробелов» в знаниях обусловлена спецификой пространственного функционирования экосистем, и она условно может быть обозначена как «территориальный пробел». Чтобы закрыть этот «пробел», на начальном этапе экологических исследований, которые служат для пополнения в дальнейшем информационной составляющей математической модели, четко очерчивают территориальные границы исследования. Для того чтобы это сделать, необходимо в полной мере задействовать все имеющиеся картографические материалы, на которые необходимо нанести границы исследования или ту область, применительно к которой в дальнейшем будут прогнозировать изменения в окружающей природной среде. Помимо «территориального» понятия границы исследований, существует еще такое понятие, как рамки, или границы исследований. Грамотно определенные рамки исследования позволяют в дальнейшем избежать выполнения ненужного объема работ и вычислений.

В табл. 1, представленной ниже, проиллюстрировано понятие рамки исследований применительно к прогнозу воздействий на окружающую среду водно-транспортного объекта. Здесь перечислены те компоненты окружающей среды, на которые в дальнейшем будет оказано влияние и которые подлежат обязательному исследованию. При этом считается, что другие компоненты среды затронуты не будут, поэтому их анализ и оценка выходят за рамки исследования.

Еще одна большая группа пробелов — это так называемые «временные пробелы». Объясняется наличие этих пробелов тем, что экологические исследования применительно к одному и тому же объекту могут быть разделены существенным по времени интервалом. С этими пробелами поступают следующим образом. По возможности, исключают из дальнейшего рассмотрения все так называемые «экстраполяционные» области получения данных. Необходимые для дальнейшего использования данные подвергают предварительному отбору, применяя например, метод анализа временных рядов. Из рассмотрения исключают также данные, в отношении которых есть сомнения в их достоверности или подлинности. Иногда данные перепроверяют сразу несколькими способами.

Наличие следующей группы пробелов в знаниях объясняется «измерительными» проблемами. Это означает, что иногда исходные данные, которые предполагается использовать в дальнейшем при разработке моделей, получены при измерении и их фиксации различными приборами, исследователями или по различным методикам. Иногда эти данные носят чисто качественный характер.

Что делать в этом случае? Рекомендуется определиться с едиными шкалами для оценки интересующих исследователя параметров. В том случае, когда часть данных носит качественный характер, возможно использование метода шкалирования качественных характеристик.

Таблица 1

Компоненты окружающей среды, подлежащие детальному исследованию в рамках прогноза воздействий на окружающую среду

Название компонента ОС и виды деятельности
Климат
Загрязняющие воздух вещества
Шум
Почвы
Подземные воды
Поверхностные воды
Растительность
Животный мир
Рекреация
Жилища
Сельское хозяйство
Водное хозяйство
Рыболовство

Простейшая интерпретация этого метода выглядит следующим образом: оценкам «хорошо», «удовлетворительно», «плохо» соответствует шкала со значениями «3», «2» и «1». Рассмотрим конкретный пример использования метода шкалирования качественных характеристик. Ниже, в табл. 2 и 3, приведены варианты шкал, используемых для ранжирования степени нагрузки на окружающую среду и восприимчивости этой среды к нагрузкам.

Таблица 2

Шкала нагрузки на компоненты окружающей среды

Нагрузка				
Р а н г и				
1	2	3	4	5
очень малая	малая	средняя	высокая	очень высокая

Таблица 3

Шкала восприимчивости окружающей среды к нагрузкам

Негативная реакция			↔	Позитивная реакция		
-3	-2	-1	0	1	2	3
высокая и очень высокая	средняя	малая и очень малая	нет	малая и очень малая	средняя	высокая и очень высокая

Еще одна группа пробелов в наших знаниях о функционировании экологических и природных систем объясняется несовершенством методической базы, применяемой в ходе исследований, и оценки экологически обусловленных проблем и ситуаций, и поэтому может быть обозначена как «пробелы методические». Одним из универсальных средств борьбы с пробелами «методического» характера является применение системного анализа и современных методов, развиваемых на его основе, например, теории нечетких множеств и «вероятностных подходов». Еще один путь — постоянное совершенствование методов, используемых в ходе проведения экологических исследований, и доведение их до реализации в форме конкретных методик. Приведем пример закрытия «методического» пробела путем усовершенствованного вероятностного подхода [3].

Применение таких методов в области защиты побережья широко обсуждается в настоящее время. Для того чтобы пояснить вышеназванный термин «вероятностный подход», обычно приводят следующий пример с дамбой. Предположим, что дамба, защищающая побережье от морского волнения, разрушилась вследствие катастрофического подъема уровня воды, и территория, защищаемая дамбой, оказалась затопленной. Предположим также, что мы знаем формулу, которая точно описывает зависимость разрушения дамбы от величин уровня воды и высоты волны. Специалист, не использующий в своей практике вероятностные методы, применит эту формулу и точно скажет: разрушится дамба или нет. Если же встает вопрос о применении вероятностных методов, то автоматически возникает вопрос о «неопределенностях» используемых параметров и формул. Некоторое представление о «неопределенностях» и способах их преодоления дает табл. 4.

Таблица 4

Перечень «неопределенностей», влияющих на конечный результат расчетов, и рекомендации по их уменьшению

Название «неопределенности»	Пример	Возможные способы уменьшения «неопределенности»
Фундаментальные «неопределенности»	Параметры морского волнения, характеристики качества материалов сооружения	Могут быть только уменьшены, полностью избежать их не удастся
«Неопределенности» статистических моделей	Статистическое распределение вероятностных величин	Могут быть уменьшены за счет большего объема данных и улучшения их качества
«Неопределенности» физических моделей	Эмпирические и теоретические взаимосвязи в описании течения физических процессов	Могут быть сокращены за счет улучшения качества моделей
«Неопределенности», вызываемые ошибками в действиях человека	Ошибки в планировании, организации и исполнении	Уменьшение «неопределенности» очень проблематично, так как они сильно различаются от случая к случаю

Термин «вероятностные методы» происходит от английского «probability» и означает методы, которые в вышеназванном примере дают результат не «0» (дамба не разрушена) или «1» (дамба разрушена), а результат между нулем и единицей, обозначающий так называемую вероятность отказа конструкции.

В противоположность вероятностному подходу при детерминированном способе существует простое противопоставление нагрузки S и сопротивления R . Если в случае с нашей дамбой R больше чем S , то с детерминистических позиций положение дамбы надежно и вероятность отказа равна нулю. Вероятностный способ предполагает наличие «неопределенности» в обоих параметрах R и S , которые должны определяться не как простые числа, а через функции распределения. Если при перекрытии функций получают область, в которой R меньше чем S , то делают вывод о том, что положение дамбы уже ненадежно. Вероятность отказа в этом случае больше нуля. Однако сами вероятностные методы не следует рассматривать как замену детерминированным, они являются их развитием и усовершенствованием.

Теперь рассмотрим пример использования системного подхода к анализу экологической ситуации, реализованной в форме конкретной методики. Ниже, на рис. 2, представлен алгоритм организации процедуры оценки воздействия на окружающую среду, разработанный на основе системного подхода.

В общем случае для борьбы с «методически обусловленными» пробелами в знаниях можно руководствоваться следующей схемой. Во-первых, рассмотреть, какие методы вообще могут быть использованы в данном случае. Во-вторых, определиться с возможными ошибками, которые имеют место при использовании данного метода. В-третьих, провести «работу над ошибками», выявив интервал («окно») для исследуемых параметров, в пределах которого ошибки исключены. Далее следует определиться с той областью, в пределах которой результаты, получаемые с помощью применяемого метода, можно считать достоверными, и попытаться «распространить» эту область на используемые модели, зависимости и высказывания экспертов. Например, вы считаете, что достоверными будут результаты в пределах 10 лет наблюдений, следовательно, все модели и зависимости будут у вас нормально функционировать в этом интервале, поэтому «запредельными» данными пользоваться не следует, так как это приведет к искажению искомого результата. На заключительном этапе метод реализуется в форме алгоритма, в рамках которого четко и последовательно излагается рассмотренная выше процедура.

Таким образом, применение теории «пробелов» в знаниях на практике сводится к определенной последовательности действий. Необходимо сначала назвать «пробел», выявив его причину, а затем — постараться закрыть «пробел», используя один из перечисленных выше приемов. При закрытии «пробелов» в первую очередь следует исходить из того, чем они обусловлены. «Пробелы», имеющие неизбежный характер, закрывают, вводя вероятностные оценки и риски. «Пробелы», возникающие вследствие территориальной и временной неопределенности, можно ликвидировать, четко очертив рамки и границы исследования. «Пробелы» измерительного характера ликвидируют, например, с помощью методов шкалирования. Методически обусловлен-

ных «пробелов» можно избежать, если идти по пути совершенствования методической базы исследований.

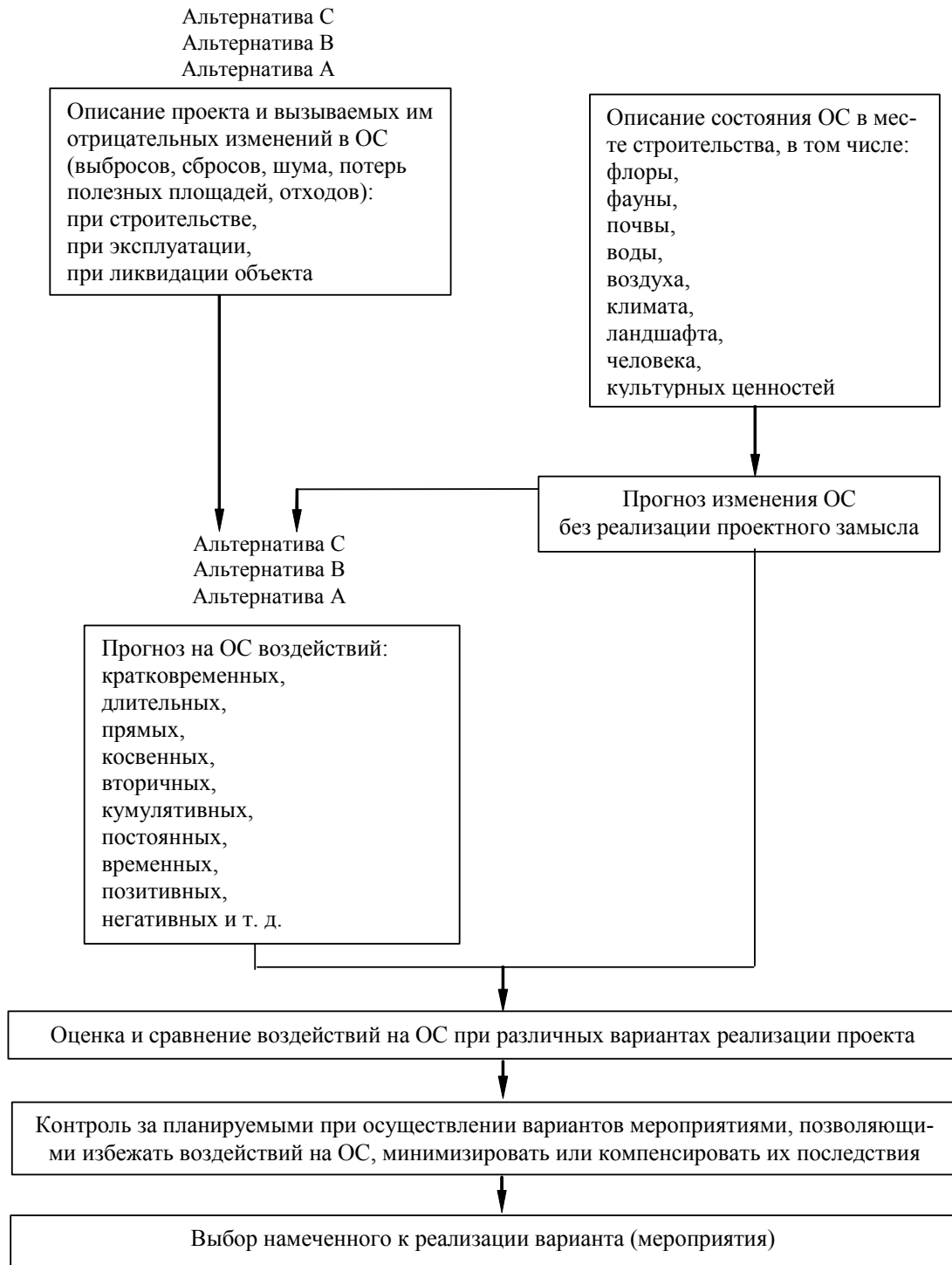


Рис. 2. Алгоритм организации процедуры оценки воздействия на окружающую среду (ОС)

Еще один практический вывод, который можно почерпнуть из теории «пробелов», заключается в том, что с «пробелами» в знаниях необходимо научиться существовать. Это возможно, если правильно работать с базами экологических данных, применять в исследованиях стохастическое моделирование и сценарные методы развития событий, использовать теорию нечетких множеств, вводить в расчеты вероятностные оценки. Все это означает, что в экологии существует обширное поле деятельности для специалистов, занимающихся теоретическими вопросами в этой области. Специалисты практического профиля должны для себя четко уяснить, что результаты их расчетов могут быть интерпретированы как величины вероятностные и могут быть сведены, например, к оценке экологического риска реализации того или иного мероприятия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Kenntnissluecken selbstgemacht? Erfahrungen aus dem UVP-Alltag. Akademie fuer Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein. Neumuenster, 1996.
2. *Keppo H. И.* Практический подход к определению экологического риска // Гидротехническое строительство. 2004. № 1.
3. *Keppo H. И.* Современные подходы к защите морского побережья от наводнений // Гидротехническое строительство. 2003. № 1.

N. Kerro

THE THEORY OF «INCOMPLETE» KNOWLEDGE APPLIED TO PRACTICAL SOLUTION OF ECOLOGICAL PROBLEMS

In this paper the classification and analysis of the so called «incomplete» knowledge about functioning of ecological systems and methods of liquidation of this incompleteness using the concrete methods for solution of the practical problems are considered. The theory of «incomplete» knowledge helps to unite the efforts of theoreticians and practitioners in investigation and analysis of ecological problems.