

МЕТОДИКА ВЫБОРА ПЛОЩАДКИ РАЗМЕЩЕНИЯ РАДИАЦИОННООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

В. Г. Батий, В. В. Деренговский

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

Предложен методический подход выбора предпочтительных площадок на территории Украины для строительства радиационноопасных объектов. Рассмотрен пример применения данного методического подхода на примере выбора одной из трех предпочтительных площадок на территории Украины для строительства централизованного хранилища отработавшего ядерного топлива АЭС с реакторами ВВЭР.

Введение

Решения разнообразных вопросов, связанных с развитием атомной энергетики, таких как строительство новых энергоблоков, объектов для обращения с радиоактивными отходами (РАО) и отработавшим ядерным топливом и т.д. делает актуальной задачу выбора площадок для новых радиационноопасных объектов.

Цель работы - разработка методики выбора площадки для размещения таких объектов на основе многокритериального анализа.

В данной работе представлена процедура сравнения степени радиационного воздействия радиационноопасного объекта на окружающую среду при строительстве, нормальной эксплуатации и возможных авариях в зависимости от места сооружения объекта. В настоящее время в Украине нет утвержденной методики сравнительного анализа радиационных воздействий при различном расположении радиационноопасного объекта. В связи с этим предлагается возможный вариант процедуры выбора предпочтительной площадки.

При выборе наилучшего варианта приходится учитывать много различных требований, предъявляемых к решению, и среди этих требований встречаются противоречащие друг другу. Однако почти все математические методы оптимизации предназначены для нахождения экстремума одной функции - для одной цели. Поэтому чаще всего пытаются свести многоцелевую задачу к одноцелевой. Эта процедура в большинстве случаев неприменима, так как выразить все критерии через одну цель практически невозможно.

Если при решении одноцелевых задач методологических проблем не возникает, а возможны только вычислительные трудности, то иначе обстоит дело с многоцелевыми решениями. Здесь основные нюансы связаны со следующей проблемой: что следует считать наилучшей альтернативой в задаче с несколькими целевыми функциями, которые противоречивы и достигают максимума в различных точках множества альтернатив? На этот счет на сегодняшний день не существует единого мнения, поэтому оценка качества системы в случае векторного показателя качества является одной из главных проблем в теории эффективности и исследования операций.

Многомерные цели могут находиться друг с другом в следующих отношениях:

1. Цели взаимно нейтральны. Система может применительно к отдельным целям характеризоваться и рассматриваться независимо.
2. Цели кооперируются. Здесь, как правило, систему удастся рассмотреть применительно к одной цели, а остальные достигаются одновременно.
3. Цели конкурируют. В этом случае одну из целей можно достигнуть лишь за счет другой.

Если цели частично нейтральны, частично кооперированы и частично конкурируют между собой, то задача формулируется таким образом, что нужно принимать во внимание только конкурирующие цели. Рассмотрение нейтральных или кооперативных целей не представляет особых трудностей, так что проблемы, ориентированные на множество целей, прежде всего должны быть рассмотрены в части конкурирующих целей, поскольку все они вместе не могут быть выражены одномерным параметром.

Проведение многокритериального анализа позволяет получить количественные оценки предпочтительности выбора площадки строительства и эксплуатации объекта. Основой методики являются принципы, изложенные в работах [3, 6].

Алгоритм и основные критерии принятия оптимального решения

Рассматриваемая методика предполагает анализ вариантов размещения с целью выбора оптимального. При этом предпочтительность выбора не может быть охарактеризована единственным критерием, следовательно, задача выбора является многокритериальной. Необходимо отметить, что ряд критериев, используемых для выбора площадки, не имеют выражения в денежном эквиваленте (например, коллективная доза населения, превышение предела доз и т.п.). В этой ситуации наиболее эффективным методом решения задачи выбора является многокритериальный анализ, который применяется в теории управления [3].

Для решения указанной задачи необходимо разработать методику принятия решения по выбору наиболее приемлемого варианта площадки для размещения радиационноопасных объектов при соблюдении ограничений, перечисленных в нормативно-правовых актах, документах заказчика, технических спецификациях и др.

Суть метода многокритериального анализа функции желательности состоит во введении агрегированного критерия, в котором объединяются все другие критерии [3]. С этой целью для каждого критерия осуществляется построение функции желательности $u_j(x)$, которая отображает область изменения каждого из критериев x в диапазоне баллов, изменяющихся от 0 до 1.

Обобщенный показатель эффективности W_i i -го варианта определяется как сумма соответствующих функций желательности

$$W_i = \sum_{j=1}^n k_j u_j(x_{ji}) \quad (1)$$

с весовыми коэффициентами k_j , которые выбираются так, чтобы

$$\sum_{j=1}^n k_j = 1. \quad (2)$$

Вид функций желательности u_j и значения весовых коэффициентов k_j выбираются в зависимости от исходных данных, проектных решений, принятых критериев и способов получения их численных значений, а также шкалы предпочтений выбранных критериев.

Для решения поставленной задачи разработан следующий алгоритм принятия оптимального решения, представленный на рис. 1. Первым шагом данного алгоритма является анализ воздействия проектируемого объекта. На основании полученного анализа разрабатывается перечень возможных площадок (шаг 2) и при помощи качественного анализа выбираются наиболее перспективные для последующего изучения (шаг 3). После этого уточняются критерии выбора площадки (шаг 5) и выполняются расчеты численных критериев с указанием границ изменения параметров (шаг 6). Для качественных критериев группой экспертов проводится оценка анализируемых площадок с указанием границ изменения параметров (шаг 7) и определение весов каждого из критериев (шаг 8). Далее для каждой площадки вычисляется обобщенный показатель эффективности W_i (шаг 9), среди

которых определяется максимальное значение W_{max} и ближайшее по величине значение обобщенного показателя эффективности W_{max-1} (максимальное из оставшихся значений) (шаг 10). Поскольку некоторые из критериев имеют оценочный характер, необходимо провести анализ чувствительности полученного выбора от вариации параметров в границах изменений

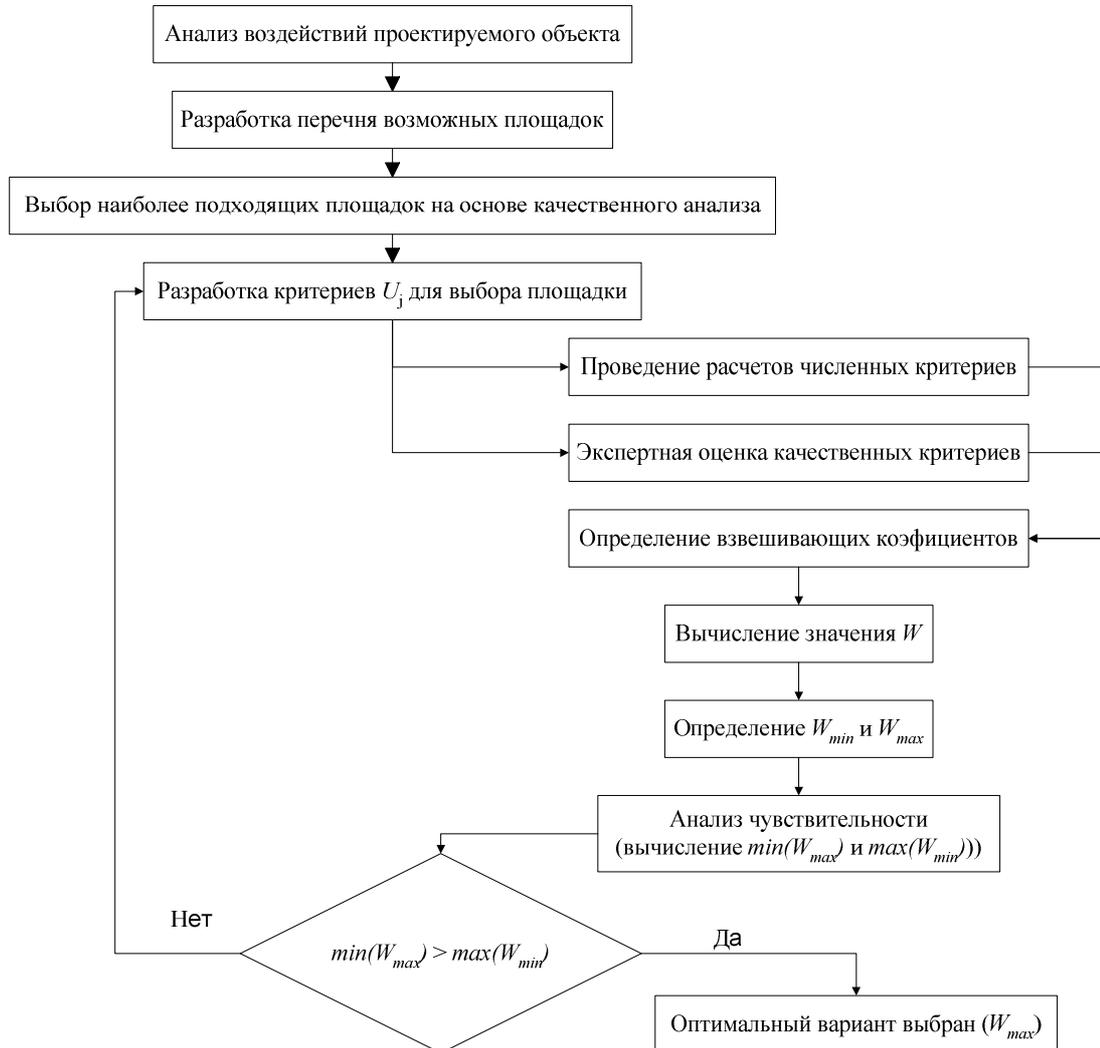


Рис. 1. Схема проведения выбора оптимального варианта

(шаг 11), т.е. определить, не изменится ли выбор оптимального варианта при различных значениях параметров расчетов из границ изменений. Далее определяется минимальное значение обобщенного показателя эффективности для оптимального варианта при вариации параметров $\min(W_{max})$ и максимальное значение обобщенного показателя эффективности для ближайшего варианта при вариации параметров $\max(W_{max-1})$. Если $\min(W_{max}) > \max(W_{max-1})$ (шаг 12), то полученный вариант будет оптимальным (шаг 13). Если же $\min(W_{max}) \leq \max(W_{max-1})$ (шаг 12), то либо все варианты равноценны между собой, либо необходимо провести повторную корректировку перечня критериев, уточнения границ изменения параметров, оценок качественных критериев и определение весов критериев.

Для проведения оценки площадок строительства объекта, прежде всего, необходимо определить общие аспекты, которые влияют на выбор площадки. Эти общие аспекты приведены в табл. 1 и рассмотрены для каждой площадки в соответствии с ее особенностями.

Следующим шагом алгоритма необходимо определить критерии принятия оптимального варианта. Учитывая требования украинских и международных требований и рекомендаций по соблюдению принципа ALARA, предложены к рассмотрению следующие критерии принятия оптимального решения:

- 1) численность населения в районе площадки, чел.;
- 2) u_2 - доза облучения персонала и населения, мЗв;
- 3) u_3 - превышение плотности радиоактивного загрязнения территории, %;
- 4) u_4 - количество объектов природно-заповедного фонда, ед.;
- 5) u_5 - количество редких и охраняемых видов, ед.;
- 6) u_6 - объекты гидрографической сети, км²;
- 7) u_7 - количество опасных объектов в 5-километровой зоне объекта, ед.;
- 8) u_8 - наличие природных факторов, влияющих на безопасность эксплуатации объекта;
- 9) u_9 - необходимость отвода земли;
- 10) u_{10} - необходимость создания подъездных путей;
- 11) u_{11} - направленность общественного мнения.

Таблица 1. Перечень главных групп факторов, определяющих выбор площадки

Группы факторов	Что рассматривается
Радиоэкологические	Радиационная обстановка; радиационное воздействие на персонал и население при строительстве, нормальной эксплуатации и возможных авариях
Социальные	Плотность населения; образование новых рабочих мест; общественное мнение и др.
Природно-климатические	Наличие эндо- и экзогенных геологических процессов; сейсмичность территории; густота и расположение гидрографической сети; вероятность подтопления и затопления; глубина залегания грунтовых вод и др.
Природоохранные	Наличие и значимость объектов природно-заповедного фонда; потребность в проведении восстановительных и компенсационных мероприятий по минимизации воздействий

Все перечисленные критерии в зависимости от степени проработки проектных решений, полноты и достоверности исходных данных могут быть рассчитаны с известной относительной погрешностью. При отсутствии полноты и/или достоверности исходных данных, а также недостаточной детальности проработки проектных решений при помощи экспертных систем проводится оценка необходимых данных, и соответствующие критерии будут иметь оценочные значения с указанием относительной погрешности или закона распределения. Кроме того, в общем случае все критерии могут быть как количественными, так и качественными. Чаще всего качественными являются критерии, оцененные при помощи экспертных систем.

Рассмотрим детальнее выбранные основные критерии. В большинстве случаев первые семь критериев являются количественными. Критерии с восьмого по одиннадцатый в большинстве случаев являются качественными. Для вычисления величины качественных критериев вводится как наиболее полная 9-бальная шкала [7]:

- 9 – минимальное значение критерия;
- 7 – низкое значение критерия;
- 5 – среднее значение критерия;
- 3 – высокое значение критерия;
- 1 – максимальное значение критерия;
- 2, 4, 6, 8 – промежуточные значения между соседними значениями шкалы.

Построение наиболее приемлемых функций желательности

Перейдем теперь к построению функций желательности для выбранных критериев. Сначала надо определить, какие критерии являются количественными, а какие - качественными. Следующим шагом является определение границ значений количественных критериев. Учитывая физический смысл критериев, нижней границей для всех количественных критериев является значение 0.

венных критериев будет нулевое значение. Максимальное значение этих критериев может быть как исходными данными, так и экспертными оценками. В некоторых случаях получить эти значения не представляется возможным. Определим теперь монотонность и склонность/несклонность или безразличие к риску функций для указанных критериев. Исходя из определений критериев, все они являются монотонно убывающими, поскольку, чем меньше значение критерия, тем лучше соответствующее решение. Проанализировав принцип ALARA и выбранные критерии, можно сделать следующий вывод: все критерии не склонны или безразличны к риску.

На следующем этапе построения функций желательности необходимо определить численные значения этих функций для граничных значений количественных критериев. Учитывая все вышеизложенное, получим

$$\begin{aligned} u(x_{\min}) &= u(0) = 1, \\ u(x_{\max}) &= 0. \end{aligned}$$

Для тех случаев, когда верхняя граница критерия не определена, функция желательности будет асимптотически приближаться к оси значений критериев. Следующим шагом построения функций желательности является определение значений функций $U(x_{0,5}), U(x_{0,25})$ и $U(x_{0,75})$ в точках $x_{0,5} = (x_{\max} - x_{\min})/2, x_{0,25} = (x_{\max} - x_{\min})/4$ и $x_{0,75} = 3 \cdot (x_{\max} - x_{\min})/4$.

После проверки согласованности полученных значений можно перейти к графическому представлению полученных функций желательности.

Для построения функции желательности для всех количественных критериев предложены следующие варианты:

1) для монотонно убывающих, безразличных к риску и имеющих границу сверху критериев - простые линейные функции вида

$$u_i = A \cdot X + B, \quad (3)$$

где $i = 1, \dots, 7$; X - значение критерия.

Графическое представление указанных выше функций желательности показано на рис. 2;

2) когда установить верхнюю границу значения критерия не представляется возможным и для некоторых случаев построения функции желательности всех количественных критериев необходимо выполнение следующих условий:

в области малых значений стоимости и дозы функция должна иметь высокие значения и быть малочувствительной к изменениям аргумента;

в области больших значений стоимости и дозы функция должна иметь низкие значения и быть малочувствительной к изменениям аргумента;

в интервале близких значений аргумента функция должна иметь хорошее разрешение.

Перечисленным выше условиям соответствует функция вида

$$u_i = EXP(-0,7 \cdot (X / A)^4), \quad (4)$$

где $i = 1, \dots, 7$, X - значение критерия; A - константа, которая определяется как среднее значение i -го критерия всех рассматриваемых вариантов.

Графическое представление указанных выше функций желательности показано на рис. 3.

Функцию желательности для качественных критериев можно определить следующим образом ($i = 1, \dots, 7$):

$$u_i(9) = 0; u_i(8) = 0,125; u_i(7) = 0,25; u_i(6) = 0,375; u_i(5) = 0,5; u_i(4) = 0,625; u_i(3) = 0,75; u_i(2) = 0,875; u_i(1) = 1.$$

График такой функции желательности имеет дискретный характер, так как функция определена только в девяти точках (рис. 4).

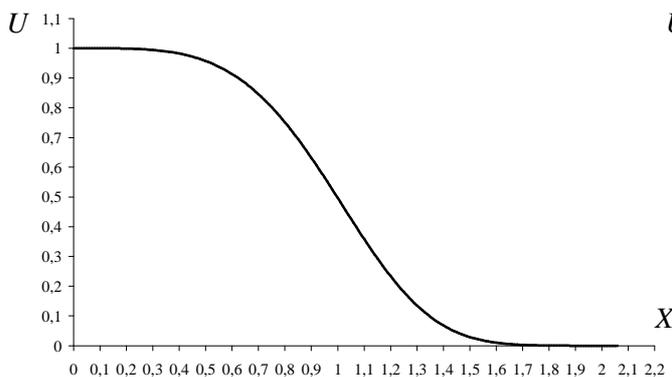


Рис. 2. Вид функции желательности u монотонно убывающих и безразличных к риску критериев.

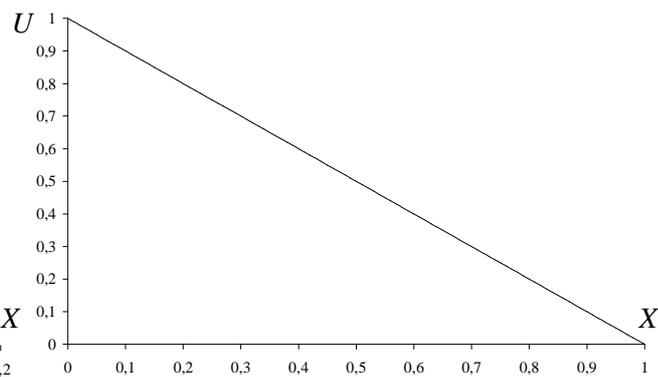


Рис. 3. Вид функции желательности u для критериев, не имеющих верхней границы значений.

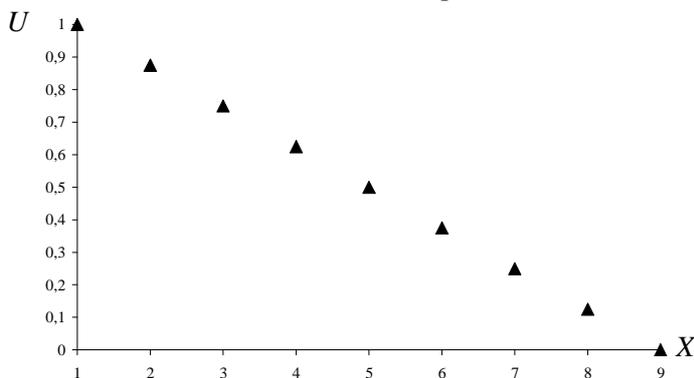


Рис. 4. Вид функции желательности u для качественных критериев.

Применение методики выбора площадки размещения радиационноопасных объектов

В качестве примера рассмотрим выбор одной из трех предпочтительных площадок на территории Украины для строительства централизованного хранилища отработавшего ядерного топлива АЭС с реакторами ВВЭР [8].

Анализ проводился для следующих экономически приемлемых вариантов размещения объекта:

- 1) площадка, прилегающая к блоку № 1 Хмельницкой АЭС (Хмельницкая обл., г. Негишин) (далее - площадка «ХАЭС»);
- 2) площадка на территории зоны отчуждения, прилегающая к ХОЯТ-2 (ГСП «Чернобыльская АЭС») (далее - площадка «ЧАЭС»);
- 3) площадка на территории зоны отчуждения, прилегающая к НПК "Вектор" (Центр по переработке и захоронению РАО) (далее - площадка «ЦПЗ»).

На основе многокритериального метода проведен анализ, получены интегральные количественные оценки пригодности альтернативных вариантов площадки для безопасной эксплуатации объекта, которые представлены в табл. 2. Для получения значений функции полезности для вариантов выбора площадок необходимо воспользоваться соотношением (1). При этом веса критериев необходимо нормировать таким образом, чтобы выполнялось соотношение (2).

Заметим, что критерии $U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6, U_8$ являются составными и зависят от набора критериев более низкого уровня. Для получения оценок таких критериев необходима отдельная процедура.

Таблица 2. Весовые коэффициенты критериев и значения функций полезности, использованные при оценке площадок

Критерий	Вес критерия	Значение функции полезности		
		"ХАЭС"	"ЧАЭС"	"ЦПЗ"
U ₁ - численность населения в районе площадки, чел.	0,75	0	0,96	1,00
U ₂ - доза облучения персонала и населения, мЗв	1,00	0,05	0,95	0,92
U ₃ - превышение плотности радиоактивного загрязнения территории, %	0,75	0	1,00	0,93
U ₄ - количество объектов природно-заповедного фонда, ед.	0,25	0	0,80	0,64
U ₅ - количество редких и охраняемых видов, ед.	0,25	0	1,00	1,00
U ₆ - объекты гидрографической сети, км ²	0,75	0,20	0,004	0,96
U ₇ - количество опасных объектов в 5 км зоне объекта, ед.	0,25	1,00	0	0,75
U ₈ - наличие природных факторов, влияющие на безопасность эксплуатации объекта	0,25	0,20	0	1,00
U ₉ - необходимость отвода земли	0,25	0	1,00	1,00
U ₁₀ - необходимость создания подъездных путей	0,25	1,00	0	0
U ₁₁ - направленность общественного мнения	1,00	0	1,00	1,00
Суммарное значение функции полезности	-	0,13	0,72	0,90

Для определения значений функций полезности для критериев u_{81} , u_{82} , u_9 , u_{10} , u_{11} вводятся искусственные шкалы (табл. 3). При этом большему значению по искусственной шкале соответствует лучшее значение критерия.

Таблица 3. Искусственные шкалы для критериев u_{81} , u_{82} , u_9 , u_{10} , u_{11}

Критерий	Значение	Значение по шкале
u_{81} – опасность подтопления	высокая	7
	средняя	5
	низкая	3
	отсутствует	1
u_{82} – опасность затопления	высокая	7
	средняя	5
	низкая	3
	отсутствует	1
u_9 – необходимость отвода земли	да	9
	нет	1
u_{10} – необходимость создания подъездных путей	да	9
	нет	1
u_{11} – ориентация общественного мнения	негативная	9
	позитивная	1

Заключение

Данный методический подход был практически применен для выбора предпочтительной площадки строительства хранилища отработавшего ядерного топлива ВВЭР на территории Украины [8]. Анализ показал, что предпочтительной площадкой для строительства хранилища на территории Украины является площадка «ЦПЗ», которая обладает наибольшим суммарным значением функции полезности (0,90) по сравнению с площадкой "ЧАЭС" (0,72).

Использование данного метода позволяет в условиях недостаточности исходных данных проводить анализ и сравнение вариантов площадок для новых радиационноопасных объектов:

- строительство новых энергоблоков;
- создание объектов для обращения с РАО и отработавшим ядерным топливом;
- снятие энергоблоков ЧАЭС с эксплуатации;
- другие работы, у которых критериев оценки несколько и они не могут сравниваться в исходном виде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нормы радиационной безопасности Украины. Дополнение: Радиационная защита от источников потенциального облучения.* НРБУ-97/Д-2000.
2. *Государственные гигиенические нормативы.* НРБУ-97. - Минздрав Украины, 1997.
3. *Кини Р., Райфа Х.* Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1981.- 560 с.
4. *Уотермен Д.* Руководство по экспертным системам / Пер. с англ. – М.: Мир, 1989, 388 с.
5. *Форсайт Р.* Экспертные системы. Принцип работы и примеры / Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1987.- 224 с.
6. *Кини Р.* Размещение энергетических объектов: выбор решений / Пер. с англ. - М.: Энергоатомиздат, 1983.- 318 с.
7. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. - М.: Радио и связь, 1993.
8. *Батий В.Г., Городецкий Д.В., Деренговский В.В. и др.* Выбор площадки для строительства централизованного хранилища отработавшего ядерного топлива // Проблемы Чернобиля. - 2003. Вип. 13. - С. 24.

Поступила в редакцию 10.11.04,
после доработки - 16.11.04.