

УПРАВЛЕНИЕ ТЕРРИТОРИЯМИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РИСКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ГИС ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В.И. Диденко, Б.И. Яцало, С.В. Грицюк, О.А. Мирзеабасов,

И.А. Пичугина

ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск



Описывается система поддержки принятия решений (СППР) DECERNS (Decision Evaluation in Complex Risk Network Systems), предназначенная для многокритериального анализа широкого круга пространственно распределенных альтернатив в рамках управления рисками, в том числе планирования (управления) землепользованием. Представлено описание методов и средств, реализованных в рамках DECERNS, а также применение разработанной системы для решения конкретной задачи управления рисками (выбора систем защитных мероприятий) на радиоактивно загрязненной в результате Чернобыльской аварии территории.

Ключевые слова: радиоактивно загрязненные территории, пространственная система поддержки принятия решений, веб-СППР, ГИС, многокритериальный анализ решений, управление рисками, управление защитными мероприятиями.

Key words: radioactively contaminated territories, Spatial Decision Support Systems, WebSDSS, GIS, Multi-Criteria Decision Analysis, risk management, countermeasure optimization.

ВВЕДЕНИЕ

При современном подходе к планированию землепользования, охране окружающей среды и защите населения на техногенно (радиоактивно) загрязненных территориях требуется проведение комплексного анализа не только экономических, но и целого ряда технологических, экологических, радиозэкологических, социальных и других критериев в рамках устойчивого развития региона. Эффективное решение такого рода задач невозможно без использования ГИС-технологий, а также методов и средств поддержки принятия решений (ППР) [1–5]. Использование соответствующих классу задач систем ППР (СППР; DSS – decision support system) способствует последовательному, воспроизводимому и эффективному решению задач в рамках индивидуального или группового анализа решений [2–6].

Системы поддержки принятия пространственных решений (далее ПСППР; Spatial DSS, SDSS) представляют собой СППР для анализа слабоструктурированных пространственных задач [7–10]. Принимая во внимание то, что большинство такого рода задач являются многокритериальными по своей сути, ПСППР представляют собой, как правило, интеграцию ГИС-функций и методов многокритериального

анализа решений (МКАР) [10–14].

Обзор ПСППР и примеры их использования для решения различных задач анализа пространственных альтернатив представлены в работах [2, 14, 15].

Среди ПСППР, направленных на решение задач анализа защитных мероприятий (контрмер) на радиоактивно загрязненных территориях, можно выделить прежде всего следующие системы:

– RODOS – система анализа и управления поставарийной ситуацией в острый и долгосрочный периоды ликвидации последствий ядерных аварий на ПЯТЦ [16–18]; ряд компьютерных систем общего плана для анализа некоторых реабилитационных мероприятий на радиоактивно загрязненных территориях [18–20];

– PRANA – система поддержки сети мониторинга и управления защитными мероприятиями в агросфере Брянской области, наиболее загрязненной после Чернобыльской аварии территории РФ [4, 21–26].

В данной работе представлено краткое описание ПСППР DECERNS и ее практическое использование для решения многокритериальной задачи управления радиоактивно загрязненными территориями на примере оптимизации структуры защитных мероприятий.

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ DECERNS

DECERNS представляет собой веб-ПСППР (пространственную СППР), интегрирующую основные функции геоинформационных систем (ГИС) для анализа и представления пространственных данных (карт), модели многокритериального анализа решений (МКАР), а также целый ряд компьютерных средств поддержки принятия решений (ППР). Особенностью веб-СППР DECERNS является возможность интеграции моделей для оценки показателей рисков и других критериев, используемых в процессе ППР. Программный интерфейс приложения интегрирует три основные подсистемы DECERNS: ГИС, средства МКАР, а также математические модели (если они добавлены пользователями системы для решения конкретных задач).

ГИС-подсистема

В рамках данной подсистемы реализованы следующие ГИС-функции, использование которых достаточно для решения большинства прикладных задач охраны окружающей среды и планирования землепользования:

- визуализация и раскраска многослойных векторных и растровых карт;
- создание и редактирование легенд;
- зуммирование и панорамирование карт;
- измерения длин и площадей;
- реализация запросов к используемым базам данных атрибутивной информации;
- создание буферных зон для выделенных объектов заданного слоя;
- реализация процедур наложения (оверлея), включая объединение, пересечение и вычитание картографических слоев;
- растеризация и скалярные операции над растровыми слоями.

Методы и средства многокритериального анализа решений

Ключевым компонентом DECERNS является подсистема МКАР. Методы МКАР представляют собой систематизированную процедуру анализа множества альтернатив с использованием нескольких критериев с целью преодоления ограничений неструктурированного индивидуального или группового принятия решений [27].

В рамках DECERNS реализованы все наиболее известные и востребованные для решения научно-практических задач дискретные модели МКАР (детальное описание методов приведено, например, в [27–31]): MAVT, MAUT, ANP, TOPSIS,

PROMETHEE. Для учета и анализа неопределенностей в систему включены оригинальные методы ProMAA (Probabilistic Multi-criteria Acceptability Analysis), в рамках которых могут использоваться вероятностные характеристики критериев и весовых коэффициентов, а также метод FMAA (Fuzzy MAA) с возможностью использования нечетких значений критериев и весов [30].

При реализации методов МКАР в DECERNS используются следующие средства ППР:

- создание и редактирование дерева критериев (value tree) в процессе структуризации и выбора модели многокритериальной задачи;
- создание и редактирование таблицы характеристик критериев и альтернатив (performance table);
- построение графиков значений критериев для рассматриваемых альтернатив (value path) и графиков разброса значений критериев (scatter plot);
- анализ чувствительности (представлен средствами оценки влияния изменения весовых коэффициентов, а также влияния изменения функций ценности (полезности) на ранжирование (выбор) альтернатив).

Поддержка принятия пространственных решений

МКАР- и ГИС-подсистемы DECERNS могут работать совместно в рамках интегрированной ПСППР или независимо как автономные системы при выборе соответствующих опций пользователями. Интерфейс пользователя позволяет активировать все основные функции DECERNS, которые необходимы для многокритериального анализа пространственных альтернатив. При решении соответствующих прикладных задач может быть разработан модельный блок для проведения, например, оценок показателей риска и других величин, используемых в качестве критериев в рамках соответствующей многокритериальной задачи.

ПРИМЕНЕНИЕ DECERNS ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ

Рассмотрим проблему управления рисками на примере решения задачи оптимизации структуры защитных мероприятий в агросфере в рамках реабилитации радиоактивно загрязненной территории.

Общее описание задачи

Рассматривается Новозыбковский район Брянской области, наиболее загрязненный после Чернобыльской аварии район РФ (карты землепользования и загрязнения района представлены в [32, 33]). Согласно проведенным модельным оценкам (на 1998–2005 гг.), дополняющим имеющиеся данные мониторинга, средняя доза облучения местного населения превышает 1 мЗв/год (уровень реагирования) более чем в 50% НП [34, 35]. В соответствии с принятыми национальными правилами регулирования поставарийных ситуаций в случае указанного превышения должны быть приняты меры по защите населения, ведущие к уменьшению доз облучения [36–39].

В рамках обсуждения с экспертами реализованных на загрязненной территории контрмер рассмотрена научно-практическая задача многокритериального анализа защитных мероприятий (систем контрмер). Целью такого анализа является выбор компромиссного решения на основе интеграции значений различных критериев с использованием методов МКАР.

Альтернативы, критерии и модели

Все предложенные экспертами защитные стратегии (альтернативы) направлены на уменьшение доз местного населения как напрямую (например, запрет на потребление местного молока), так и через уменьшение загрязнения сельскохо-

зьяственной продукции. В обоих случаях предлагаемые контрмеры ведут к уменьшению доз внутреннего облучения. Вклад дозы внутреннего облучения превышает 50% суммарной дозы практически в 90% сельских НП (рассматриваются средние дозы внешнего и внутреннего облучения населения для каждого НП). Контрмеры по уменьшению на больших территориях доз внешнего облучения в рамках данного исследования не рассматривались ввиду их неэффективности в долгосрочный период ликвидации последствий аварии [32].

Альтернативы. Согласно модельным оценкам, вклад молока в дозу внутреннего облучения местного населения составляет 30–70% (при отсутствии контрмер, КМ) [35]. В этой связи ряд экспертов, вовлеченных в анализ защитных стратегий, поддерживают меры по запрету потребления местного молока. Другие эксперты поддерживают применения сельскохозяйственных КМ. Такие КМ ведут к уменьшению загрязнения сельскохозяйственной продукции и последующему уменьшению доз внутреннего облучения [24, 35, 37]. Предлагаются такие КМ, как добавка феррацин-содержащих препаратов в корм КРС, а также проведение коренного улучшения пастбищ и сенокосов. Использование феррацина в корме животных ведет к уменьшению загрязнения продукции животноводства (молока и мяса); проведение коренного улучшения пастбищ (сенокосов) не только уменьшает загрязнения травы (сена), но и существенно повышает агроэкологические характеристики окультуренных земельных участков [32, 38, 39].

Экспертами рассматривались следующие шесть альтернатив (защитных стратегий) в рамках реабилитации радиоактивно загрязненной территории Новозыбковского района:

A_0 : никакие КМ на загрязненной территории не проводятся (отсутствие вмешательства);

A_1 : запрет на потребление местного молока в тех НП, где модельные оценки среднего загрязнения молока (в пастбищный период или в среднем за год) превышают установленный норматив (ВДУ, 100 Бк/кг) [37];

A_2 : применение коренного улучшения пастбищ и сенокосов (за исключением заливных лугов) в зоне загрязнения выше 5 Ки/км² (консервативный подход к реализации КМ в агросфере);

A_3 : применение коренного улучшения на тех пастбищах (сенокосах) за исключением заливных лугов при потреблении травы (сена), с которых модельная оценка загрязнения молока превышает установленный норматив;

A_4 : применения феррацина (для молочного КРС), если модельная оценка загрязнения молока с используемых пастбищ (сенокосов) превышает установленный норматив;

A_5 : применение коренного улучшения для всех пастбищ (сенокосов) за исключением заливных лугов при потреблении травы (сена) с которых модельная оценка загрязнения молока превышает установленный норматив, а также использование феррацина в том случае, если загрязнение молока при использовании травы (сена) с окультуренного пастбища (сенокоса), т.е. там, где проведено коренное улучшение, все еще превышает установленный норматив.

Критерии. Указанные альтернативы оцениваются с использованием следующих критериев:

C_1 – общая стоимость реализации защитной стратегии, тыс. USD ($C_1 \rightarrow \min$);

C_2 – предотвращаемый в результате применения КМ риск, представляющий собой модельную оценку предотвращенной коллективной дозы местного населения, чел.Зв ($C_2 \rightarrow \max$);

C_3 – доля местного населения, %, проживающая в НП со средней дозой внут-

ренного облучения, превышающей 1 мЗв/год после проведения КМ ($C_3 \rightarrow \min$);

C_4 – доля молока местного производства, %, с уровнем загрязнения свыше установленного норматива, 100 Бк/кг, после реализации КМ ($C_4 \rightarrow \min$);

C_5 – улучшение общей социально-экономической ситуации в регионе в результате проведения (комплекса) реабилитационных (защитных) мероприятий ($C_5 \rightarrow \max$).

Модели. Следующие модели используются в DECERNS для оценки критериев $C_1 - C_4$ при проведении анализа каждой из альтернатив: модели оценки загрязнения сельскохозяйственной продукции и даров леса; модели оценки доз внутреннего и внешнего облучения местного населения (средняя доза облучения населения в каждом НП и по региону в целом); модели оценки результатов применения систем КМ (индивидуальные и коллективные дозы после проведения КМ, предотвращенные дозы, стоимость КМ).

Указанные модели изначально были разработаны в рамках проектов PRANA [4, 5, 21–24, 35] и адаптированы к использованию в DECERNS.

Оценка и многокритериальный анализ альтернатив

С использованием разработанных моделей определяются значения критериев $C_1 - C_4$ для каждой из альтернатив $A_0 - A_5$. Критерий C_5 (улучшение социально-экономической ситуации в регионе) оценивается экспертами по 10-балльной шкале на основании экспертных суждений ($C_5 = 0$ и $C_5 = 9$ – соответственно самая низкая и самая высокая оценки критерия).

Согласно проведенным модельным оценкам, загрязнение молока в рассматриваемом районе в случае отсутствия каких-либо КМ варьирует от 20 до 1000 Бк/кг; при этом средняя доза внутреннего облучения населения в НП находится в диапазоне 0.4–6.3 мЗв/г. со средней дозой 2 мЗв/г. по району в целом. В результате применения системы КМ A_5 загрязнение молока в районе находится в диапазоне 5–140 Бк/кг, а средняя доза внутреннего облучения в НП варьирует от 0.4 до 2 мЗв/г. со средней дозой по району 0.9 мЗв/г.

Criteria	C1	C2	C3	C4	C5
Name	C1	C2	C3	C4	C5
Description	Cost, k\$	Avertable collective dose, man·Sv	% of population with Hint>1mSvy	% of milk with C>DIL	Improvement of the general socL
Scale	local none minimize v\$linear	local none maximize v\$linear	local none minimize v\$linear	local none minimize v\$linear	local none maximize v\$linear
Weight	0.2	0.05	0.3	0.35	0.1
Performance Table					
Alternatives / Criteria	C1	C2	C3	C4	C5
A0	0	0	68.3	80.1	1
A1	6341	0.87	54.8	80.1	1
A2	12272	0.91	49.5	39.6	8
A3	9843	0.9	49.5	39.5	7
A4	73	0.69	49.8	34.9	5
A5	9916	1.13	36	9.1	10

Рис.1. Вид расширенной матрицы (таблицы) характеристик в DECERNS: значения критериев для рассматриваемых альтернатив и весовые коэффициенты

Многокритериальный анализ альтернатив. Пять экспертов принимали участие

в процессе оценки критериев и последующем многокритериальном анализе альтернатив с участием специалиста в области ППР/МКАР и применении ПСППР DECERNS. На основании проведенных оценок $a_{ij} = C_j(A_i)$ составлена матрица характеристик (performance table), рис.1.

В результате обсуждения со специалистом в области ППР различных подходов к многокритериальному анализу альтернатив в качестве модели МКАР эксперты выбрали одну из наиболее востребованных – MAVT [27–29]. Эксперты согласились с выбором в качестве исходных линейных частных функций ценности $V_j(x)$ для всех критериев. Такой выбор был обоснован также тем, что эксперты могли участвовать в проведении анализа чувствительности результатов к изменению вида функций ценности (от линейной к нелинейной). Функции ценности определялись в локальной шкале значений критериев, изменяясь от 0 до 1, так что $V_j(C_{j,worst}) = 0$, $V_j(C_{j,best}) = 1$, где $C_{j,worst}$ и $C_{j,best}$ – соответственно худшее и лучшее значения критерия $C_j(A_i)$, $j = 1, \dots, 5$, на множестве альтернатив A_i , $i = 0, \dots, 5$.

Веса относительной важности критериев (коэффициенты масштабирования) определялись экспертами с участием специалиста в области ППР с использованием обоснованного для MAVT метода раскачивания (*swing*) [27]. Критерий C_4 указан экспертами как наиболее важный (с учетом диапазона изменения значений каждого критерия), поскольку регион является, в основном, сельскохозяйственным, а сельскохозяйственная продукция с загрязнением выше нормативов [37], согласно принятым требованиям ведения, не может быть использована для потребления и продажи.

В результате последовательной реализация *swing*-метода определения коэффициентов масштабирования (весов) относительной важности критериев в данной задаче было показано что $w_4 > w_3 > w_1 > w_5 > w_2$, где w_j – весовой коэффициент критерия C_j , $j = 1, \dots, 5$; определенные далее экспертами значения *swing*-коэффициентов w_j представлены на рис.1.

Интегральная ценность $V(A_i)$ альтернативы A_i определяется, согласно MAVT модели МКАР, выражением [27, 28]

$$V(A_i) = \sum w_j V_j(A_i).$$

Ранжирование альтернатив A_i основано на ранжировании значений $V(A_i)$ – чем выше интегральная ценность альтернативы, тем она предпочтительнее.

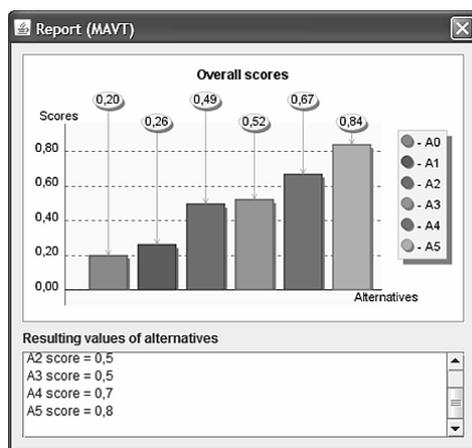


Рис. 2. Ранжирование альтернатив (MAVT)

Ранжирование исследуемых альтернатив A_i , $i = 0, \dots, 5$, представлено на рис. 2.

Согласно полученным интегральным оценкам ценностей, альтернатива A_5 может быть рассмотрена как наиболее приемлемая в рамках предложенного экспертами структурирования многокритериальной задачи и выбора модели МКАР. Ретроспективный анализ мер по реабилитации радиоактивно загрязненных территорий в Новозыбковском районе Брянской области показывает, что комбинированные мероприятия (коренное улучшение пастбищ и сенокосов, применение феррацинсодержащих препаратов в животноводстве) весьма эффективно использовались в регионе в 1990–2004 гг.

Анализ чувствительности результатов ранжирования альтернатив к изменению весовых коэффициентов $w_j, j = 1, \dots, 5$ и частных функций ценности $V_j(x)$ (от линейных к нелинейным функциям) занимал важное место в исследовании рангов альтернатив. Фрагмент такого анализа приведен на рис.3.

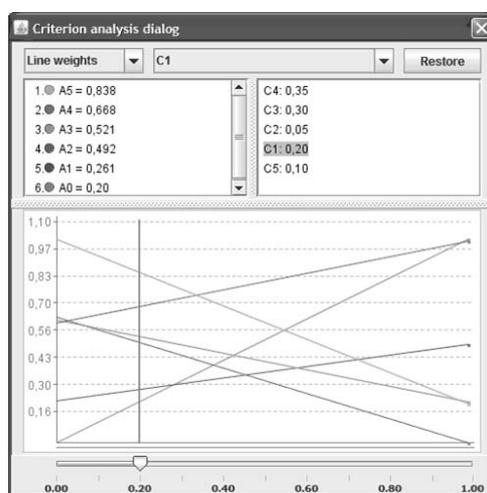


Рис. 3. Анализ чувствительности к изменению весов

На основании проведенного анализа чувствительности эксперты пришли к выводу, что несмотря на определенное превосходство альтернативы A_5 над A_4 , согласно предложенной структуре анализа многокритериальной задачи и используемой модели MAVT, различие между данными альтернативами при принятии решений по реализации систем КМ в конкретных хозяйствах региона можно рассматривать как незначительное. При этом эксперты пришли к согласию, что обоснованными будут рекомендации для ЛПР принимать во внимание доступность финансовых и материальных ресурсов в конкретный год для конкретной территории при выборе между указанными двумя альтернативами (отмечая при этом, что стоимость альтернативы A_4 существенно ниже стоимости A_5). Расширенный анализ неопределенностей выходных показателей данной задачи с использованием других методов МКАР [40] подтвердил мнение экспертов о том, что альтернатива A_4 может рассматриваться как незначительно отличающаяся от A_5 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная пространственная система поддержки принятия решений DECERNS является оригинальной веб-ПСППР, включающей в себя три основных подсистемы: ГИС-подсистему, подсистему многокритериального анализа решений, а также подсистему интегрирования моделей (например, моделей оценки показателей рисков). Следующие особенности DECERNS подчеркивают ее отличие от других ранее разработанных систем ППР:

- DECERNS является МКАР-ориентированной ПСППР, включающей в себя базовые и ряд моделей МКАР и средств ППР, интегрированных с функциями ГИС для обработки картографических слоев и анализа пространственных данных;
- специализированные модели могут быть интегрированы в DECERNS и использованы совместно с функциональностью ГИС и ППР;
- средства DECERNS позволяют проводить всесторонний анализ широкого круга (пространственных и непространственных) многокритериальных задач;
- DECERNS является эффективно работающей СППР, написанной с использованием открытого программного обеспечения.

В работе представлен пример использования DECERNS для решения научно-практической задачи по управлению рисками на радиоактивно загрязненной территории. Показано, что использование системы позволяет эффективно оценить критерии для рассматриваемых альтернатив (систем контрмер в рамках реабилитации радиоактивно загрязненной территории) и в процессе решения задачи ППР выбрать из них компромиссную стратегию (альтернативу) с учетом значений всех рассматриваемых критериев.

Работа выполнена в рамках международного проекта МНТЦ №3549 при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проекта ФЦП (Информатика) 14.740.11.0360.

Литература

1. Демерс М. Географические информационные системы. Основы. – М.: Дата+. 1999. – 489 с.
2. Malczewski J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in Planning*, 62, 3–65.
3. Bardos R.P., Mariotti C., & Nortcliff S.N. (2000). A Framework and Categorisation of Decision Support Tools Used in Contaminated Land Management Across Europe. *Proc. of the Intern. Confer. ConSoil-2000* (pp.169–170), Leipzig, Germany, Sept. 18–22, 2000.
4. Yatsalo B.I. Decision Support System for Risk Based Land Management and Rehabilitation of Radioactively Contaminated Territories: PRANA approach. – *Int. J. Emergency Management*, Vol. 4, No. 3, 2007. PP.504–523.
5. Яцало Б.И., Демин В.Ф. Поддержка принятия решений по управлению техногенно загрязненными территориями на основе анализа риска с применением геоинформационных технологий. // *Атомная энергия*. Т. 93. Вып. 2, 2002. С. 128–136.
6. Balram, S. & Dragievi, S. (Eds). (2006). *Collaborative Geographic Information Systems*. Idea Group Publishing.
7. Simon H.A. (1960). *The new science of management decisions*. New York: Random House.
8. Sprague, R. H. (1980). A framework for the development of decision support systems. *Management Information Sciences Quarterly*, 4, 1–25.
9. Densham P.J., Goodchild M.F. (1989). Spatial Decision Support Systems: a research agenda. *Proceedings of GIS/LIS'89* (pp.706–716), Orlando, FL).
10. Laaribi, A., Chevallier, J.J. & Martel, J.M. (1996). A spatial decision aid: A multicriterion evaluation approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 20(6), 351–366.
11. Carver, S. J. (1991). Integrating multicriteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, 5(3), 321–339.
12. Chakhar, S. & Martel, J.-M. (2003). Enhancing Geographical Information Systems Capabilities with Multi-Criteria Evaluation Functions. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 7(2), 47–71.
13. Jankowski, P. (1995). Integrating geographical information systems and multiple criteria decision making methods. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9, 251–273.
14. Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature.

- International Journal of Geographical Information Science, 20(7), 703–726.
15. Rinner, C. (2003). Web-based Spatial Decision Support: Status and Research Directions. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 7(1), 14–31.
 16. Ehrhard, J., & Shershakov, V. (Eds). (1996). *Real-time On-line Decision Support System (RODOS) for off-site emergency management following a nuclear accident*. Final Report, Joint Study Project No 1, European Commission, DG XII, Brussels: EUR 16533 EN.
 17. Kelly, G.N. & Fraser, G. (Eds). (1993). Decision Making Support for Off-site Emergency Management. - *Radiation Protection Dosimetry*, 50, No 2-4.
 18. Baverstam U., Fraser G. and Kelly G.N. (Eds). (1997). Decision Making Support for Off-site Emergency Management. - *Radiation Protection Dosimetry*. 73 (1-4).
 19. SADA (2012), Spatial Analysis and Decision Assistance, <http://www.tiem.utk.edu/~sada/index.shtml>.
 20. SMARTe (2012), Sustainable Management Approaches and Revitalization Tools - electronic, <http://www.smarte.org/smarte/home/index.xml>.
 21. Yatsalo, B.I., Mirzeabassov, O.A., Okhrimenko, I.V. & Pichugina, I.A. (1997). PRANA - Decision Support System for Assessment of Countermeasure Strategy in the Long-term Period of Liquidation of the Consequences of a Nuclear Accident. – *Radiation Protection Dosimetry*, 73 (1-4), 291–294.
 22. Яцало Б.И., Мирзеабасов О.А., Сальников Н.Л., Охрименко И.В., Пичугина И.А. Геоинформационная система анализа и оптимизации мер по реабилитации территорий в долгосрочный период ликвидации последствий ядерной аварии. // *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 1998, № 4. С. 39–43.
 23. Yatsalo B., Mirzeabassov O., Okhrimenko I., Pichugina I., Kulagin B. and Lisyansky B. PRANA: geoinformation support system for protection and rehabilitation of agrosphere after nuclear accident. - *J. of Hazardous Materials*. 1998, v. 61(1-3). P. 381–384.
 24. Yatsalo B.I., Hedemann Jensen P. and Alexakhin R.M. .Methodological Approaches to Analysis of Agricultural Countermeasures on Radioactive Contaminated Areas: Estimation of Effectiveness and Comparison of Different Alternatives. *Radiat. Prot. Dosim.* 1997, v. 74, No 1/2. P. 55–61.
 25. Hedemann Jensen P. and Yatsalo B.I. Methodology for Determining Action Levels for Cleanup of Contaminated Urban and Agricultural Environments. - *Health Phys.* 75(2):120-129; 1998.
 26. Яцало Б.И. Методы и алгоритмы оптимизации радиационной защиты в рамках реабилитации радиоактивно загрязненных территорий. // *Известия вузов. Ядерная энергетика*. 2003, №3. С. 29–40.
 27. Belton V., Stewart T. (2002). *Multiple Criteria Decision Analysis: An Integrated Approach*. Kluwer Academic Publishers.
 28. Keeney R.L., Raiffa H. (1976). *Decision with Multiple Objectives*. J. Wiley & Sons, New York.
 29. Figueira J., Greco S., Ehrgott M. (Eds). (2005). *Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys*. New York (NY): Springer.
 30. Яцало Б.И., Грицюк С.В., Мирзеабасов О.А., Василевская М.В. Учет неопределенностей в рамках многокритериального анализа решений с использованием концепции приемлемости. / *Управление большими системами*. Вып. 32. – М.: ИПУ РАН, 2011. С. 5–30.
 31. Yatsalo B., Kiker G., Kim J., Bridges T., Seager T., Gardner K., Satterstrom K., Linkov I. (2007). Application of Multi-Criteria Decision Analysis Tools for Management of Contaminated Sediments. – *Integrated Environmental Assessment and Management*, 3(2), 223–233.
 32. Karaoglou, A., Desmet, G., Kelly, G.N., & Menzel, H.G. (Eds). (1996). The radiological consequences of the Chernobyl accident. Proc. of the first International Conference, Minsk, Belarus, 18–22 March, European Commission. ISBN 92-827-5248-8. ECSC-EC-EAEC, Brussels, Luxembourg.
 33. Яцало Б.И., Мирзеабасов О.А., Пичугина И.А. и др. Геоинформационная система радиоактивно загрязненной территории Брянской области. // *Вестник Российской Академии Сельхознаук*. Т. 2, 2001. С. 46–47.
 34. Справочник. *Средние годовые эффективные дозы облучения в 2001 г. жителей населенных пунктов Российской Федерации, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения*

по постановлению правительства Российской Федерации № 1582 от 18 декабря 1997 года «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» (для целей зонирования населенных пунктов) / Под редакцией Г.Я. Брука. – М.: Минздрав России, 2002.

35. Диденко В.И., Яцало Б.И., Брук Г.Я., Голиков В.Ю. Анализ структуры доз облучения населения радиоактивно загрязненных территорий с использованием многоуровневых адаптивных моделей оценки доз. // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2004, №1. С. 54–60.

36. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. / СП 2.6.1.758-99. М.: Минздрав России, 1999. 115 с.

37. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПин 2.3.2.1078-01. – М.: Минздрав РФ, 2002. – 164 с.

38. Рекомендации по ведению сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения территории в результате аварии на ЧАЭС на период 1991–1995 гг. / Под ред. Р.М. Алексахина. – М.: Госагропром СССР, 1991. 58 с.

39. Management on the implementation of countermeasures in the agriculture after a nuclear accident. Vienna: IAEA-TECDOC-745, 1994. 104 p.

40. Yatsalo B., Gritsyuk S., Didenko V., Vasilevskaya M., Mirzeabasov O., Babutski A. Land-Use Planning and Risk Management with the Use of Web-based Multi-Criteria Spatial Decision Support System DECERNS. / Proc. of the 25th Mini-EURO Conference «Uncertainty and Robustness in Planning and Decision Making, URPDM 2010». University of Coimbra, Portugal, 15–17 April, 2010. ISBN 978-989-95055-3-7. 9 p.

Поступила 22.02.2013

fuel assemblies (EFAs) containing low neutron poisoning fuel rods evaluated both experimentally and by calculated simulation of their operation in the SM reactor loop facility. The EFAs thermo-physical parameters are considered. The key controlled test parameters are presented. All EFAs with low neutron poisoning fuel rods have been successfully tested; they preserved their performance under heat rate, thermal load and burnup typical for the operating conditions in the modernized SM core.

УДК 621.039

Optimization of plutonium stores for closed fuel cycle with thermal and fast nuclear reactors \ Moseev P.A., Korobeinikov V.V., Moseev A.L.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) Obnibsk, 2013. 10 pages, 8 illustrations. References, 9 titles.

In this work the algorithm for supplies plutonium minimization is described. That algorithm is needed for nuclear power scenarios modeling. As an example the test calculations for scenario of development Russia nuclear power on the basis of thermal and fast reactors are given. This algorithm can be used for nuclear power scenarios modeling in case when the nuclide composition of loaded uranium-plutonium fuel in fast reactors are unknown in advance.

УДК 621.039.531

Ensuring of the design value of fuel burnup in high-temperature gas-cooled reactor with operability graphite \ Nesterov V.N.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) Obnibsk, 2013. 10 pages, 2 tables, 4 illustrations. References, 13 titles.

This paper describes a method of determining compliance of exhausted graphite's resource of fuel blocks in high temperature gas-cooled reactor with fuel burnup. Obtained axial distribution of local values of exhausted resource of graphite of fuel blocks. It is shown that for ensuring of the design value for burnup fuel with operability graphite fuel blocks is need to reduce the average mixed temperature of helium coolant leaving the reactor core and reduce the time between congestion nuclear fuel.

УДК 503.2:504.064

Environmental risk management with the use of multi-criteria GIS for decision-making support \ Didenko V.I., Yatsalo B.I., Gritsyuk S.V., Mirzeabasov O.A., Pichugina I.A.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) Obnibsk, 2013. 10 pages, 3 illustrations. References, 40 titles.

Environmental risk-based land management requires implementation of tools for spatial information analysis, problem-oriented models for assessment of risk values, and computer systems for decision-making support. A new Decision Support System (DSS) DECERNS (Decision Evaluation in Complex Risk Network Systems) has been developed to address this class of problems. DECERNS is a web-based Spatial DSS (WebSDSS) for multi-criteria analysis of a wide range of spatially-distributed alternatives within the problems on risk management and land-use planning. This paper provides a brief overview of methods and tools used in DECERNS; application of DECERNS for a case study on multi-criteria risk management for contaminated land resulting from Chernobyl is presented.

УДК 621.039.56

The ^{16}N generator on the base of 14 MeV neutrons accelerator source \ Khryachkov A.V., Dvornikov P.A., Zhuravlev B.V., Kovtun S.N., Khromyleva T.A., Roschin N.G.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Schools. Nuclear Power Engineering) Obnibsk, 2013. 3 pages, 2 illustrations. References, 2 titles.

The ^{16}N generator on the base of 14 MeV neutron accelerator source for calibration of leak detection and velocity of heat-transfer radiation channels in first contour of WWR nuclear reactor on base of ^{16}N activity measurement is suggested.