

УТВЕРЖДЕНО

Приказ Департамента по ядерной и радиационной безопасности  
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь

*от 22.11.2023*

№ *49*

## РУКОВОДСТВО

по ядерной и радиационной безопасности  
«Выбор площадки размещения пункта приповерхностного захоронения радиоактивных отходов»

### ГЛАВА 1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Руководство по ядерной и радиационной безопасности «Выбор площадки размещения пункта приповерхностного захоронения радиоактивных отходов» (далее – Руководство по безопасности) разработано в целях содействия соблюдению требований норм и правил по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Размещение пунктов хранения ядерных материалов, пунктов хранения радиоактивных отходов, пунктов захоронения радиоактивных отходов», утвержденных постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 18 августа 2022 г. № 48 (далее – НП № 48).

2. Настоящее Руководство по безопасности содержит рекомендации Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь к организации и управлению процессом выбора площадки, описание данного процесса, а также обзор общих руководящих принципов выбора площадки и необходимые данные, которые рекомендуется получить в процессе выбора площадки для размещения пункта приповерхностного захоронения радиоактивных отходов (далее – ППЗРО), а также их оценке безопасности.

3. Руководство по безопасности основано на подходах, закрепленных Стратегией обращения с радиоактивными отходами, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 15 февраля 2023 г. № 128.

Руководство по безопасности учитывает рекомендации Международного агентства по атомной энергии: общие требования безопасности, часть 5, GSR, Part 5 «Обращение с радиоактивными отходами перед захоронением», конкретные требования безопасности SSR-1 «Оценка площадок для ядерных установок», руководство по

безопасности WS-G-6.1 «Хранение радиоактивных отходов», специальное руководство по безопасности, SSG-14 «Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste», специальное руководство по безопасности, SSG-23 «The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste»,—специальное руководство по безопасности SSG-29 «Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste», а также международные практики, реализованные при выборе площадки размещения ППЗРО.

4. Руководство по безопасности предназначено для применения организациями, осуществляющими деятельность по выбору площадки размещения ППЗРО с использованием критериев, которые соответствуют типу радиоактивных отходов, предназначенных для захоронения и (или) долговременного хранения.

5. Оценка безопасности и влияния на окружающую среду ППЗРО включает рассмотрение радиационного воздействия на всех этапах жизненного цикла данного объекта. Потенциальные радиационные воздействия после закрытия ППЗРО возникают в результате естественных процессов, ведущих к постепенному высвобождению радионуклидов в биосферу, и в результате событий, которые могут оказать неблагоприятное воздействие на ППЗРО, таких как вторжение человека. Пригодность площадки в значительной степени зависит от ее способности обеспечивать безопасность радиоактивных отходов в течение периода их потенциальной опасности и сокращать темпы миграции радионуклидов, а также ограничивать потенциальное негативное воздействие системы захоронения радиоактивных отходов на человека и окружающую среду.

Для обоснования принятого решения рекомендуется проводить оценочные прогнозные расчеты оценки долговременной безопасности пригодных площадок размещения ППЗРО.

## **ГЛАВА 2**

### **ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К ВЫБОРУ ПЛОЩАДКИ РАЗМЕЩЕНИЯ ППЗРО**

6. Основная цель процесса выбора площадки размещения ППЗРО заключается в определении подходящего места для захоронения (долговременного хранения) радиоактивных отходов и подтверждении того, что данное место обладает характеристиками, которые в сочетании с конструкцией объекта и упаковкой радиоактивных отходов обеспечивают надлежащую изоляцию радионуклидов от биосферы на весь период потенциальной опасности захораниваемых радиоактивных отходов. Площадка размещения ППЗРО, как правило, служит основным компонентом эффективной и безопасной изоляции радиоактивных

отходов. Дополнительные инженерные решения могут повысить эффективность изоляции и обеспечить безопасность населения и окружающей среды.

Система захоронения (долговременного хранения) радиоактивных отходов разрабатывается таким образом, чтобы конструкции, а также тип и количество радиоактивных отходов, предназначенных для размещения, соответствовали характеристикам площадки.

Предпочтение следует отдавать площадкам с однородной и предсказуемой геологией, которые можно легко охарактеризовать с помощью методов геологического исследования.

7. Процесс выбора площадки размещения ППЗРО состоит из обследования перспективных районов и выбора площадки.

На этапе обследования перспективных районов рекомендуется выявлять районы с потенциальными (перспективными, пригодными) площадками для размещения ППЗРО, соответствующие условиям его размещения, после исследования всей территории Республики Беларусь, включая территорию Полесского государственного радиационно-экологического заповедника<sup>1</sup>. На данном этапе следует отказаться от неподходящих (ненадлежащих, непригодных) площадок.

С целью отбора перспективных районов для выбора площадки размещения ППЗРО рекомендуется проанализировать исходные данные, указанные в подразделе «Перечень исходных данных, необходимых для предварительной оценки рассматриваемых площадок размещения ППЗРО» раздела 3.2 «Обследование территории с целью выбора площадки размещения ППЗРО» настоящего Руководства по безопасности.

На этапе выбора площадки из предварительно отобранных рекомендуется определить территории, пригодные для дальнейшего изучения. При определении пригодных площадок следует руководствоваться критериями размещения ППЗРО, установленными в НП № 48 и исключать из рассмотрения площадки, не отвечающие установленным критериям (критериям исключения). Рекомендуемый перечень критериев исключения приведен в подразделе «Анализ соответствия рассматриваемых площадок размещения ППЗРО установленным критериям выбора площадки размещения ППЗРО» раздела 3.3 «Определение характеристик площадки размещения ППЗРО» настоящего Руководства по безопасности.

При оценке пригодности площадок размещения ППЗРО рекомендуется руководствоваться результатами изыскательских и исследовательских работ, выполненных в объеме, указанном в подразделе

---

<sup>1</sup> Полесский государственный радиационно-экологический заповедник не относится к особо охраняемой природной территории.

«Рекомендуемый объем изысканий и исследований, проводимых на площадках размещения ППЗРО, с целью обоснования проектных решений ППЗРО и долговременной безопасности ППЗРО» раздела 3.3 «Определение характеристик площадки размещения ППЗРО» настоящего Руководства по безопасности.

Рекомендуется выполнить сравнительный анализ пригодных площадок с использованием метода ранжирования с целью принятия решения по выбору оптимальной площадки размещения ППЗРО, согласно описанию, приведенному в подразделе «Реализация метода ранжирования площадки размещения ППЗРО с целью выбора пригодных площадок для размещения ППЗРО» раздела 3.3 «Определение характеристик площадки размещения ППЗРО» настоящего Руководства по безопасности. Пример реализации метода ранжирования для выбора площадки размещения ППЗРО приведен в приложении к настоящему Руководству по безопасности, в котором представлено описание процесса выбора оптимального варианта площадки размещения ППЗРО из набора гипотетических вариантов, выполненного на основе реализации метода анализа иерархий.

8. Для обоснования принятого решения рекомендуется проводить оценочные прогнозные расчеты оценки долговременной безопасности для пригодных площадок размещения ППЗРО, в объеме, представленном в подразделе «Проведение для пригодных площадок размещения ППЗРО оценочных прогнозных расчетов оценки долговременной безопасности с целью выбора оптимальной площадки» раздела 3.4 «Подтверждение выбора площадки размещения ППЗРО» настоящего Руководства по безопасности.

9. По результатам реализации мероприятий по выбору площадки размещения ППЗРО рекомендуется подготовить документы для обоснования безопасности размещения площадки ППЗРО. Рекомендации по содержанию данных документов приведены в главе 4 «Подготовка отчета по обоснованию безопасности ППЗРО и материалов оценки долговременной безопасности ППЗРО на стадии выбора площадки размещения ППЗРО» настоящего Руководства по безопасности.

### **ГЛАВА 3**

## **ЭТАПЫ ПРОЦЕССА ВЫБОРА ПЛОЩАДКИ РАЗМЕЩЕНИЯ ППЗРО**

10. Процесс выбора площадки размещения ППЗРО рекомендуется осуществлять в четыре этапа:

этап разработки концепции и планирования;

- этап обследования территории;
- этап определения характеристик;
- этап подтверждения выбора площадки.

11. На каждом этапе рекомендуется обеспечить сбор и проведение анализа соответствующих данных. Детализация процесса выбора площадки размещения ППЗРО усиливается от этапа к этапу. Объем требуемых данных, а также сложность процедур может увеличиваться по мере продвижения общего процесса определения площадки к его цели – подтверждению пригодности площадки для размещения ППЗРО.

### **3.1. Разработка концепции и планирование**

12. На этапе разработки концепции и планирования мероприятий по выбору площадки рекомендуется обеспечить подготовку общего плана по реализации процесса выбора площадки, определить принципы размещения и характеристики площадки, используемые в качестве основы для обследования территории, выбрать основные методы и модели, а также методологию анализа безопасности. Рекомендуется делать вывод об обеспечении безопасности ППЗРО на основании проведенной оценки безопасности в соответствии с требованиями законодательства о ядерной и радиационной безопасности.

13. При составлении плана, указанного в пункте 12 настоящего Руководства по безопасности, рекомендуется проводить консультации с органом государственного управления по обращению с радиоактивными отходами.

14. В начале этапа разработки концепции и планирования рекомендуется определить характеристики, вид, объемы, радионуклидный состав радиоактивных отходов, планируемых к размещению в ППЗРО. Необходимо оценить людские, финансовые, организационные, технические и временные ресурсы, распределить ответственность за реализацию процесса выбора площадки, а также проработать вопрос с участием общественности в процессе принятия решений о размещении ППЗРО.

15. При выборе предпочтительных участков рекомендуется обеспечить учет всех характеристик, связанных с площадкой. Любая площадка, рекомендованная для подробного изучения, должна иметь связанные с безопасностью характеристики и условия, требуемые для безопасной эксплуатации ППЗРО.

16. Для каждого этапа процесса размещения ППЗРО собранные данные, использованные руководящие принципы и полученные результаты рекомендуется анализировать и регистрировать. Поскольку в процессе выбора площадки задействован ряд технических дисциплин,

рекомендуется конкретные технические параметры учитывать в рамках каждой из дисциплин.

### **3.2. Обследование территории с целью выбора площадки размещения ППЗРО**

17. Целью этапа обследования территории является определение перспективных районов для размещения потенциальных (перспективных, пригодных) площадок. Обследование перспективных районов для размещения ППЗРО рекомендуется осуществлять на основе систематического исследования интересующей области. На данном этапе рекомендуется учитывать инженерно-технические, эксплуатационные, социально-экономические и экологические ограничения и критерии обеспечения безопасности при выборе площадки размещения ППЗРО. Следует выполнять нормативные требования и учитывать настоящие рекомендации.

18. Обследование территории рекомендуется начинать с рассмотрения в первую очередь больших территорий, содержащих земли с благоприятными геологическими, гидрологическими, климатическими особенностями. Далее в пределах этих земель определяются подходящие приоритетные районы.

На следующем подэтапе в приоритетном районе рекомендуется определить потенциальные (перспективные, пригодные) площадки.

Потенциальные (перспективные, пригодные) площадки проверяются на соответствие более подробным требованиям и рекомендациям, не рассмотренным на предыдущем подэтапе. Некоторые потенциальные (перспективные, пригодные) площадки могут быть определены на ранней стадии проработки вопроса.

Отдельные потенциальные (перспективные, пригодные) площадки могут потребовать дальнейшего более подробного изучения. Процесс дальнейшего изучения приведет к выявлению нескольких площадок-кандидатов (альтернативных, приоритетных площадок).

#### **Перечень исходных данных, необходимых для предварительной оценки рассматриваемых площадок размещения ППЗРО**

19. Для предварительной оценки рассматриваемых площадок размещения ППЗРО в качестве исходных данных рекомендуется использовать следующую информацию.

##### **Географическое положение**

Физико-географические условия района размещения рассматриваемых площадок:

географическое положение, административно-территориальное расположение, предполагаемые границы площадки ППЗРО (положение относительно границ административно-территориальных образований, а также естественных и искусственных ориентиров (рек, озер, естественных или искусственных водохранилищ, промышленных и других хозяйственных объектов, гидротехнических сооружений, особо охраняемых природных территорий, прибрежных защитных полос и водоохраных зон водных объектов, других охранных и защитных зон, автомобильных, железных дорог и водных путей, линий воздушных маршрутов и перелетов, расположенных вблизи площадки ППЗРО);

категория земель по основному целевому назначению и имеющие определенный актами законодательства правовой режим использования и охраны.

### **Топографические условия**

Характеристика рельефа района размещения и площадки:

максимальная и минимальная абсолютные высотные отметки;

отметки уреза поверхностных водотоков и водоемов;

уклон поверхности и его направление;

наличие особых элементов рельефа (оврагов, обрывов, понижений, карстовых воронок);

наличие заболоченных участков;

наличие леса, пахотных земель и других видов земель в соответствии с их природно-историческими признаками, состоянием и характером использования.

### **Демографические условия**

Информация о близлежащих к площадке населенных пунктах, распределении населения в районе предполагаемого размещения ППЗРО, его численности и плотности.

Условия проживания населения и перспективы развития района (информация о земле- и водопользовании, информация о бытовом водопотреблении и источниках водоснабжения, использовании природных ресурсов).

Рекомендуется использовать региональные программы развития, планы развития отдельных регионов, информацию об имеющейся инфраструктуре и планы по ее развитию, о последней переписи населения, а также прогноз изменения численности населения на период потенциальной опасности захораниваемых радиоактивных отходов.

### **Гидрометеорологические условия**

Региональные особенности формирования гидрометеорологических условий, характерных для данной площадки:

общие климатические условия;

количество атмосферных осадков, интенсивность и частота выпадения, испарение с поверхности земли, эвапотранспирация, поверхностный сток, экстремальное количество осадков в виде снега, дождя, оледенения и их продолжительность;

средние и экстремальные значения температуры воздуха и температуры почвы, глубина промерзания (оттаивания) грунтов, наличие многолетней мерзлоты;

относительная и абсолютная влажность, средние, минимальные и максимальные наблюдаемые значения влажности;

средние и экстремальные значения атмосферного давления;

скорость ветра (средние и экстремальные значения), роза ветров, возможность прохождения урагана, смерча (торнадо);

среднее и максимальное значения повторяемости и продолжительности туманов, смогов, гроз, метелей, града, гололеда, пыльных и песчаных бурь.

### **Геолого-тектонические, геодинамические, геологические, сейсмотектонические и сейсмические условия**

Рекомендуется рассмотреть информацию о следующих условиях предполагаемых площадок размещения ППЗРО:

тектоническая, геологическая, сейсмотектоническая карты, схема разломов, включая выделение активных разломов и геодинамических зон региона и района (площадки), геологические разрезы и сейсмические профили района (площадки) размещения ППЗРО;

описание геолого-тектонического строения и неотектоники;

литологические (петрографические) и стратиграфические характеристики горных пород района, данные о составе и мощности отложений чехла и их морфологии, строении и глубине залегания кристаллического фундамента;

сейсмичность района размещения для уровней максимального расчетного землетрясения (далее – МРЗ) и проектного землетрясения (далее – ПЗ), данные о границах целикового блока, на котором будут отсутствовать сейсмодеформации при различных уровнях землетрясений;

схема (схемы) детального сейсмического районирования (далее – ДСР) района размещения ППЗРО, на которой указаны положение площадки ППЗРО относительно активных разломов и геодинамических зон (потенциальных зон возможного очага землетрясения (далее – ВОЗ)) и зон максимальной сейсмичности в баллах по шкале сейсмической интенсивности Медведева-Шпонхойера-Карника (далее – MSK-64) для средних грунтов;

карта (схема) сейсмического микрорайонирования (далее – СМР) площадки для естественных условий с указанием приращения интенсивности в баллах относительно средних грунтов;



карта (схема) СМР площадки для техногенно измененных условий с указанием приращения интенсивности в баллах относительно средних грунтов;

балльность для средней категории грунтов по шкале MSK-64 (при балльности более 6 приводится карта СМР);

параметры МРЗ и ПЗ для конкретной площадки с учетом результатов ДСР и района (ближнего района), а также СМР площадки для естественных и техногенных изменений (планировка территории, осушение, подтопление).

### **Гидрологические и гидрогеологические условия**

Рекомендуется рассмотреть информацию о следующих гидрологических и гидрогеологических условиях предполагаемых площадок размещения ППЗРО:

характеристика развитых в пределах площадки и в районе водоносных горизонтов и комплексов и разделяющих их водонепроницаемых слоев, а именно: распространение и условия залегания (естественная защищенность и гидравлическая взаимосвязь с другими водоносными горизонтами и с поверхностными водами), направление и скорость подземного потока, напор или положение уровня подземных вод, их режим и химический состав;

в региональном плане информация об областях питания и разгрузки, хозяйственном использовании водоносных горизонтов (комплексов);

сведения о гидрографической сети в районе размещения ППЗРО, характеристика региональных и местных гидрологических условий, информация об использовании поверхностных вод.

Рекомендуется провести анализ возможного влияния гидросферы и гидротехнических сооружений в районе размещения ППЗРО на безопасность ППЗРО, оценить влияние подъема или понижения уровня подземных или поверхностных вод на безопасность ППЗРО, оценить возможность затопления ППЗРО или подтапливания подземных сооружений ППЗРО (при их наличии).

Кроме того, для площадок рекомендуется исследовать гидрологические и гидрогеологические условия, процессы и явления.

### **Инженерно-геологические условия**

Рекомендуется рассмотреть следующую информацию:

характеристики горных пород с указанием физико-механических свойств выделенных инженерно-геологических элементов;

геотехнические свойства грунтов площадки ППЗРО (грунтов оснований зданий и сооружений, являющихся элементами, важными для безопасности, ППЗРО) и прогноз их изменения.

Для площадок рекомендуется исследовать инженерно-геологические условия, процессы и явления.

### **Техногенные условия**

Рекомендуется оценить близость особо опасных объектов по взрыво- и пожароопасности и выбросам токсических веществ в окружающую среду.

Полученные исходные данные предварительной оценки рассматриваемых площадок размещения ППЗРО рекомендуется систематизировать и проанализировать на соответствие критериям выбора площадки размещения ППЗРО.

### **3.3. Определение характеристик площадки размещения ППЗРО**

20. Определение характеристик площадки размещения ППЗРО заключается в исследовании участков-кандидатов (альтернативных, приоритетных площадок) с целью определить, являются ли они приемлемыми с точки зрения безопасности. На этом этапе рекомендуется получить информацию, необходимую для разработки предпроектной документации ППЗРО.

Предварительную оценку безопасности рекомендуется проводить на ранней стадии, чтобы определить, потенциально ли площадка пригодна для размещения ППЗРО. Предварительная оценка безопасности рекомендуется проводить с учетом результатов предварительных исследований площадки ППЗРО и описание используемого процесса принятия решений.

На данном этапе рекомендуется учитывать экономические, социальные и политические условия.

### **Анализ соответствия рассматриваемых площадок размещения ППЗРО установленным критериям выбора площадки размещения ППЗРО**

21. Площадка пригодна для размещения ППЗРО, если обоснована возможность обеспечения безопасного захоронения радиоактивных отходов в период потенциальной опасности радиоактивных отходов с учетом природных явлений, процессов и факторов природного и техногенного происхождения.

22. ППЗРО удовлетворяет требованиям безопасности в период после его закрытия, если:

при нормальном (эволюционном) протекании естественных процессов на площадке размещения ППЗРО (наиболее вероятных сценариях эволюции системы захоронения радиоактивных отходов) его радиационное воздействие на население и окружающую среду не приведет к превышению граничных доз облучения населения, установленных санитарными нормами и правилами, гигиеническими

нормативами, а также к вредному воздействию на окружающую среду в течение всего срока потенциальной опасности радиоактивных отходов;

при маловероятных (катастрофических) внешних воздействиях природного и техногенного характера на площадке размещения ППЗРО (маловероятных сценариях распространения радионуклидов из системы захоронения радиоактивных отходов) для репрезентативного лица не будет превышено значение граничного риска, установленного санитарными нормами и правилами.

В целях контроля облучения населения от объектов, на которых осуществляется долговременное хранение и (или) захоронение радиоактивных отходов (в том числе долгоживущих), рекомендуется руководствоваться требованиями законодательства в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения о непревышении граничной дозы 0,3 мЗв в год.

23. При выборе площадки размещения ППЗРО рекомендуется выполнить анализ соответствия рассматриваемых площадок размещения ППЗРО установленным критериям выбора площадки. С этой целью рекомендуется исследовать характерные для района размещения ППЗРО явления, процессы, факторы природного и техногенного происхождения. Рекомендуется производить учет геолого-гидрогеологических, гидрографических, инженерно-геологических, сейсмических, тектонических, климатических и демографических условий площадки ППЗРО, которые могут влиять на безопасность ППЗРО в период потенциальной опасности размещенных в ППЗРО радиоактивных отходов.

24. Не рекомендуется размещать ППЗРО на территориях, расположенных непосредственно на активных разломах, особо охраняемых природных территориях, подлежащих специальной охране, и территориях биосферных резерватов, территориях с сейсмичностью, которая характеризуется интенсивностью максимального расчетного землетрясения, превышающей 8 баллов по шкале MSK-64. Площадки, подверженные размыву и затоплению, имеющие опасные инженерно-геологические процессы, являются неблагоприятными. Следует учитывать ограничения о размещении ППЗРО, установленные НП № 48 и требования законодательства о ядерной и радиационной безопасности, об охране окружающей среды и рациональном использовании природных ресурсов.

25. Предпочтительными территориями для размещения площадки ППЗРО являются участки с низким уровнем грунтовых вод, не подверженные затоплению, не находящиеся в прибрежной зоне, пойме рек и болотистой местности, в пределах положительных элементов рельефа.

26. Благоприятными для размещения ППЗРО являются районы, характеризующиеся условиями, способствующими ограничению возможности выхода радионуклидов из ППЗРО и их распространения в окружающей среде. Также благоприятными являются участки, не имеющие опасных процессов природного и техногенного происхождения, характеризующиеся устойчивым ветровым режимом, наличием низкопроницаемых горных пород с несложным и однородным геологическим строением.

27. Допускается возможность размещения площадки ППЗРО в высокопроницаемых горных породах зоны аэрации (пески, песчаники, супесь), при этом необходимо учитывать условия, влияющие на перенос радионуклидов, в том числе фильтрационные и сорбционные свойства грунтов. Допустимое расстояние до уровня грунтовых вод рекомендуется подтвердить результатами оценки безопасности ППЗРО.

28. При использовании для сооружения ППЗРО существующих закрытых полостей техногенного или естественного происхождения должно быть выполнено их обследование, включая исследование устойчивости выработок, состояния крепи, обводненности и других характеристик, влияющих на безопасность захоронения радиоактивных отходов.

29. Выбор вмещающих (несущих) горных пород для сооружения ППЗРО рекомендуется осуществить с учетом результатов комплексного исследования гидрогеологических и геохимических свойств массива горных пород.

30. Исходя из перечисленных благоприятных и неблагоприятных условий площадок размещения ППЗРО, а также учитывая геополитические факторы, можно выделить следующие критерии экспертной оценки:

инфраструктурные (К1);

политические (К2);

экономико-логистические (К3);

социальные (К4);

барьерные свойства геологической среды (К5);

воздействия природного и техногенного происхождения (К6).

30.1. К *инфраструктурным критериям* (К1) относятся требования к площадке о наличии возможности организации мониторинга, создании инфраструктуры, необходимой для безопасной эксплуатации ППЗРО, обеспечения радиационной безопасности работников и населения. Для снижения уровней внешнего облучения работников при осуществлении транспортно-технологических операций на площадке ППЗРО, необходима их минимизация, автоматизация и механизация, что возможно учесть при выборе площадки.

30.2. К *политическим критериям* (К2) можно отнести учет при выборе площадки близость к границе государства, а также географическое положение относительно границ административно-территориальных образований.

30.3. При выборе площадки ППЗРО рекомендуется обосновывать возможность обеспечения безопасного и оптимального транспортирования радиоактивных отходов до ППЗРО, что является *экономико-логистическим критерием* (К3).

30.4. *Социальные критерии* (К4) проявляются в выборе расположения площадки на основании учета демографических условий, наличия особо охраняемых природных территорий, подлежащих специальной охране, и территорий биосферных резерватов (за исключением Полесского государственного радиационно-экологического заповедника), учета линий воздушных маршрутов и перелетов вблизи площадки ППЗРО. При анализе соответствия рассматриваемых площадок размещения ППЗРО социальным критериям рекомендуется рассматривать:

- плотность и численность населения;
- перспективы развития района;
- наличие водопотребления в районе размещения ППЗРО;
- рацион питания;
- использование природных ресурсов;
- миграцию и рост населения;
- наличие (отсутствие) природоохранных зон;
- географическое положение относительно границ административно-территориальных образований;
- учет линий воздушных маршрутов и перелетов вблизи площадки размещения ППЗРО.

30.5. К *барьерным свойствам* геологической среды (К5) относятся критерии, связанные со свойствами вмещающих пород – их минералогический и литологический состав, фильтрационные и миграционные характеристики.

30.6. *Воздействия природного и техногенного происхождения* (К6) включают в себя процессы, способные оказывать влияние на ППЗРО. К природным воздействиям можно отнести такие процессы, как сейсмотектонические, ряд инженерно-геологических процессов (оползни, обвалы, карстообразование), гидрологические (связанные с деятельностью рек). К техногенным воздействиям относится изменение гидрогеологического режима (влияние водозаборов, строительной и хозяйственной деятельности человека).

31. При анализе соответствия рассматриваемых площадок размещения ППЗРО рекомендуется рассматривать следующие условия размещения площадки:

- инженерно-геологические;
- гидрогеологические;
- гидрологические;
- гидрометеорологические;
- сейсмотектонические.

При учете *инженерно-геологических критериев* рекомендуется рассматривать следующие процессы и явления:

- карстования;
- суффозии;
- эрозии;
- оседания;
- оползни;
- обвалы;
- сели;
- особенности геологического строения участка;
- литологический и минералогический состав.

При учете *гидрогеологических критериев* рекомендуется рассматривать:

- подтопление и размывание;
- расположение областей питания и разгрузки подземных вод;
- взаимосвязь грунтовых вод с другими водоносными горизонтами;
- химический состав подземных вод;
- степень однородности массива;
- направление и скорость потока подземных вод;
- понижение или повышение уровня подземных вод;
- миграционные свойства и параметры пород;
- фильтрационные свойства и параметры пород;
- растворение и выщелачивание пород.

При учете *гидрологических критериев* рекомендуется рассматривать:

- особенности поверхностных водных объектов;
- максимальные и минимальные абсолютные отметки уровней водоемов;
- степень взаимосвязи подземных и поверхностных вод;
- русловые процессы.

При учете *гидрометеорологических критериев* рекомендуется рассматривать:

- климатические условия;
- количество атмосферных осадков и интенсивность их выпадения;
- температуры воздуха, почв;

влажность;  
атмосферное давление;  
скорость ветра;  
степень промерзания почвы.

При учете *сейсмотектонических критериев* рекомендуется рассматривать:

наличие (отсутствие) активных зон и разломов;  
сейсмичность района.

32. Анализ исходных данных, приведенный в подразделе «Перечень исходных данных, необходимых для предварительной оценки рассматриваемых площадок размещения ППЗРО» раздела 3.2 «Обследование территории с целью выбора площадки размещения ППЗРО» настоящего Руководства по безопасности, на наличие и соответствие критериям, рассмотренным в подразделе «Анализ соответствия рассматриваемых площадок размещения ППЗРО установленным критериям выбора площадки размещения ППЗРО» раздела 3.3 «Определение характеристик площадки размещения ППЗРО» настоящего Руководства по безопасности, в дальнейшем рекомендуется использовать при реализации метода ранжирования площадки размещения ППЗРО с целью выбора пригодных площадок.

**Рекомендуемый объем изысканий и исследований, проводимых на площадках размещения ППЗРО, с целью обоснования проектных решений ППЗРО и долговременной безопасности ППЗРО**

33. Район размещения и площадка ППЗРО исследуются в соответствии с требованиями нормативных правовых актов, в том числе обязательных для соблюдения технических нормативных правовых актов в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности.

34. Объем изысканий и научных исследований определяется достаточностью для обоснования условий размещения ППЗРО, прогноза их развития, а также получения необходимых исходных данных для выполнения оценки безопасности ППЗРО, в том числе прогнозных расчетов оценки долговременной безопасности системы захоронения радиоактивных отходов.

35. С целью обоснования выбора площадки и подготовки проектных решений по размещению ППЗРО рекомендуется проводить изыскания и исследования на выбранной площадке размещения ППЗРО, направленные на установление процессов, явлений и факторов природного и техногенного происхождения, способных оказать влияние на безопасность ППЗРО, а также для их учета при выполнении оценки долговременной безопасности.

36. Объем и состав выполняемых инженерных изысканий и исследований района размещения и площадки ППЗРО должны быть достаточны для:

выявления внешних воздействий, влияющих на безопасность ППЗРО;

определения максимальных значений интенсивности внешних воздействий, вероятности их возникновения, безопасного расстояния от источников внешних воздействий до площадки ППЗРО;

установления степени опасности внешних воздействий на площадку ППЗРО;

учета взаимосвязи внешних воздействий и прогноза их развития при сооружении, эксплуатации и закрытии ППЗРО.

37. Рекомендуется при проведении изысканий и исследований на площадке ППЗРО, в зависимости от определяемого параметра площадки, руководствоваться следующим.

37.1. При изысканиях и исследованиях гидрометеорологических процессов и явлений, таких как: наводнение, ледовые явления на водотоках (заторы, зажоры), режим прибрежной зоны водных объектов, приливы и отливы, изменение водных ресурсов: экстремально низкий сток, аномальное снижение уровня воды, рекомендуется использовать:

топографические и климатические карты, карту градоопасности территории за многолетний период климатических наблюдений, схему районирования территории бывшего СССР по смерчопасности масштаба 1:50 000 000;

исторические данные, ресурсы поверхностных вод, гидрологические ежегодники;

сообщения очевидцев, фондовые данные, гидрологический мониторинг;

статистические данные, полученные обработкой гидрометеорологической информации в многолетнем разрезе (не менее 50 лет), содержащей ряды ежегодных значений параметров, а также сведения о выдающихся максимумах;

систематические данные, собранные в течение как минимум одного года в районе вокруг площадки ППЗРО, размеры которого достаточны, чтобы учесть все особенности территории и факторы, влияющие на климат данного района;

данные измерений по стандартным программам гидрометеорологических наблюдений с ежечасной частотой замеров непосредственно на предполагаемой площадке;

данные государственного гидрометеорологического фонда и государственного климатического кадастра;

справочники по климату;



климатические ежемесячники и ежегодники;  
данные мониторинга атмосферного воздуха.

37.2. При изысканиях и исследованиях сейсмотектонических, геологических, геофизических процессов и явлений на площадке размещения ППЗРО рекомендуется использовать:

карты общего сейсмического районирования;

литературные и фондовые материалы по структурной геологии, тектонике, сейсмотектонике, геофизике, сейсмологии, глубинному строению, неотектоническим, четвертичным и современным движениям земной коры, сейсмичности, палеосейсмодислокациям;

геофизические, геохимические и геодезические наблюдения, включая высокоточное повторное нивелирование, и инструментальные наблюдения за современной геодинамикой разломов, инструментальные сейсмологические наблюдения продолжительностью не менее 1 года;

результаты комплексной геолого-геофизической съемки;

данные бурения, проходки шурфов и канав, электро- и сейсморазведочного профилирования, каротажа скважин;

материалы геодезических, аэрокосмических, инженерно-геологических изысканий и мониторинга (в том числе государственного) экзогенных геологических процессов;

материалы инженерных изысканий (геодезических, гидрометеорологических) для строительства в районах развития опасных геодинамических процессов;

материалы по инженерной защите от опасных геологических процессов.

37.3. При изысканиях и исследованиях наличия в районе и на площадке размещения ППЗРО в радиусе 2 км всех возможных наземных источников внешней пожарной опасности рекомендуется определить месторасположения следующих объектов:

лесных массивов;

складов пожароопасных веществ (твердых, жидких и газообразных);

магистральных газо-, нефте- и продуктопроводов;

железных и автомобильных дорог, речных и морских путей;

аэродромов, линий воздушных маршрутов и перелетов;

жилых массивов;

промышленных предприятий (с указанием категории зданий и открытых технологических установок, площадок по взрывопожарной и пожарной опасности);

производств по добыче угля и торфа;

площади торфяников с указанием глубины залегания торфа;

площади водных поверхностей с указанием пятен масел и других нефтепродуктов.

37.4. При изысканиях и исследованиях возможных прорывов естественных или искусственных водохранилищ (внешние воздействия техногенного происхождения) рекомендуется использовать:

атлас размещения водохранилищ;

топографические карты и планы, батиметрические и климатические карты;

сейсмичность района, ресурсы поверхностных вод, гидрологические ежегодники, данные государственного гидрометеорологического фонда;

данные мониторинга поверхностных вод и мониторинга подземных вод;

вероятностные характеристики надежности, стойкости и устойчивости гидротехнических сооружений при внешних воздействиях природного и техногенного происхождения;

статистические данные, полученные обработкой гидрометеорологической информации в многолетнем разрезе (не менее чем за 50 лет), содержащей ряды ежегодных значений параметров, а также сведения о выдающихся максимумах;

данные ежегодных измерений уровня воды в верхнем бьефе;

статистические оценки максимальных запасов воды в верхнем бьефе;

данные наблюдений по стандартным программам гидрометеорологических параметров с ежечасной частотой измерений на гидрологических станциях и постах в непосредственной близости к площадке размещения ППЗРО.

37.5. При изысканиях и исследованиях факторов, создающих внешние воздействия биологического происхождения (биологические явления), рекомендуется использовать:

литературные, архивные и фондовые материалы о наблюдениях и исследованиях растительного и животного мира (данные мониторинга растительного и животного мира);

статистические данные, полученные обработкой информации о растительном и животном мире в многолетнем разрезе (не менее чем за 50 лет), содержащей ряды ежегодных значений параметров, а также сведения о выдающихся максимумах.

37.6. При изысканиях факторов внешнего воздействия в результате радиационной аварии в районе размещения ППЗРО рекомендуется использовать:

сведения о наличии в районе и (или) на площадке размещения объектов использования атомной энергии других объектов, на которых возможны радиационные аварии;

маршрут перевозки источников ионизирующего излучения;

сведения о возможных объемах радиоактивных веществ;

сведения о радиационной аварии;  
метеорологические условия, включая сведения об инверсии, туманах.

38. После проведения изысканий и исследований, проводимых на площадках размещения ППЗРО, выполняется выбор пригодных площадок для размещения ППЗРО методом ранжирования.

### **Реализация метода ранжирования площадки размещения ППЗРО с целью выбора пригодных площадок для размещения ППЗРО**

39. Для выбора площадки ППЗРО с набором предпочтительных конкретных альтернатив рекомендуется применить многокритериальный анализ решений (МКАР), представляющий систематизированную процедуру анализа множества альтернатив с использованием набора критериев, которая позволяет преодолеть ограничения, связанные с неструктурированным индивидуальным либо групповым принятием решений.

В качестве методов принятия решений рекомендуется применять многомерные методы, такие как SAW (Simple Additive Weighting или метод простого аддитивного взвешивания), АНР (Analytic Hierarchy Process или метод анализа иерархий), ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant la Realite или метод исключений и выбора, отражающих реальность), TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution или метод упорядоченного предпочтения через сходство с идеальным решением), не ограничиваясь указанными.

В качестве примера метода ранжирования рассмотрим метод анализа иерархий (АНР), который включает процедуру синтеза приоритетов, вычисляемых на основе экспертных оценок. Приоритеты представляют собой безразмерные величины, подобно вероятностям, которые могут принимать значения от нуля до единицы.

40. На первом этапе реализации метода анализа иерархий рекомендуется выполнить построение задачи выбора площадки размещения ППЗРО в виде иерархической структуры, которая объединяет цель выбора, критерии и рассматриваемые альтернативы.

41. Иерархическую структуру задачи выбора площадки размещения ППЗРО рекомендуется представлять следующим образом (рисунок 1).



Рисунок 1 – Иерархическая структура

42. Цель состоит в принятии решения о выборе оптимальной площадки размещения ППЗРО.

Под альтернативами понимаются варианты площадок, пригодных для размещения ППЗРО.

Под критериями понимаются характеристики и условия размещения площадки ППЗРО, которые учитываются при сравнительном анализе пригодных площадок.

43. При выборе оптимальной площадки рекомендуется учитывать характеристики и условия размещения площадок ППЗРО, приведенные в подразделе «Перечень исходных данных, необходимых для предварительной оценки рассматриваемых площадок размещения ППЗРО» раздела 3.2 «Обследование территории с целью выбора площадки размещения ППЗРО» настоящего Руководства по безопасности.

44. На следующем этапе рекомендуется выполнить предварительное ранжирование критериев, учитываемых при сравнительном анализе пригодных площадок.

45. Критерии рекомендуется расположить в порядке убывания важности (значимости).

Значимость критериев рекомендуется определять экспертно, с приведением соответствующих обоснований.

При ранжировании критериев по значимости рекомендуется использовать шкалу относительной важности (таблица 1).

Таблица 1 – Шкала относительной важности

Степень важности (баллы)	Определение	Объяснение
1	Одинаковая значимость	Два действия вносят одинаковый вклад в достижение цели

Степень важности (баллы)	Определение	Объяснение
3	Некоторое преобладание значимости одного действия перед другим (слабая значимость)	Опыт и суждение дают легкое предпочтение одному действию перед другим
5	Существенная или сильная значимость	Опыт и суждение дают сильное предпочтение одному действию перед другим
7	Очень сильная или очевидная значимость	Предпочтение одного действия перед другим очень сильно. Его превосходство практически явно
9	Абсолютная значимость	Свидетельство в пользу предпочтения одного действия другому в высшей степени предпочтительны
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения между соседними значениями шкалы	Ситуация, когда необходимо компромиссное решение

46. На следующем этапе рекомендуется выполнить попарное сравнение критериев. С целью выполнения попарного сравнения критериев рекомендуется составить матрицу парных сравнений.

В матрице парных сравнений оценки критериев рекомендуется расставлять по 9-балльной шкале, указанной в таблице 1, с соблюдением принципа обратной симметричности, то есть значимость одного критерия над другим будет обратна значимости другого критерия в этой паре.

В процессе заполнения матрицы парных сравнений рекомендуется учитывать, что если элемент  $i$  важнее элемента  $j$ , то клетка  $(i, j)$ , соответствующая строке  $i$  и столбцу  $j$ , заполняется целым числом, а клетка  $(j, i)$ , соответствующая строке  $j$  и столбцу  $i$ , заполняется обратным числом (дробью).

47. На следующем этапе рекомендуется выполнить вычисление вектора приоритетов для данной матрицы. Чем больше величина приоритета, тем более весомым является соответствующий ему элемент. Сумма приоритетов элементов, подчиненных одному элементу вышележащего уровня иерархии, равна единице.

Для определения вектора приоритетов матрицы парных сравнений рекомендуется выполнить вычисление собственных векторов матрицы путем нахождения среднегеометрического строк, заключающееся в перемножении  $n$  элементов строки и извлечении корня  $n$  степени, равной числу умноженных элементов.

48. Следующим этапом рекомендуется выполнить расчет компонентов нормализованного вектора приоритетов, то есть нормирование суммы средних геометрических к единице и вычислить долю каждого собственного вектора (деление каждого собственного вектора матрицы на сумму средних геометрических).

49. На следующем этапе рекомендуется выполнить проверку согласованности локальных приоритетов путем расчета собственного максимального значения матрицы парных сравнений, индекса согласованности и отношения согласованности.

В случае, если значение отношения согласованности меньше или равно 0,1, построенную матрицу парных сравнений рекомендуется использовать на следующих этапах для определения весового вектора. В противном случае рекомендуется произвести уточнение элементов матрицы таким образом, чтобы индекс согласованности оказался в допустимых пределах. После того, как матрица парных сравнений с приемлемым индексом согласованности сформирована, переходят к следующему этапу.

50. На следующем этапе рекомендуется выполнить попарное сравнение альтернатив (площадок) по каждому критерию аналогично тому, как это делалось для критериев, и заполнить соответствующие матрицы парных сравнений, после чего выполнить проверку согласованности локальных приоритетов.

51. На заключительном этапе рекомендуется вычислить глобальные приоритеты, которые представляют собой приоритеты альтернатив относительно цели.

52. По результатам сравнения полученных значений глобальных приоритетов рекомендуется определить рейтинги всех площадок размещения ППЗРО.

53. Предпочтение рекомендуется отдавать площадке с наибольшим рейтингом.

### **3.4. Подтверждение выбора площадки размещения ППЗРО**

54. На данном этапе проводятся необходимые инженерно-геологические и инженерно-экологические изыскания в обоснование проектных решений, в том числе для разработки необходимых инженерных барьеров для обеспечения долговременной безопасности ППЗРО.

## **Проведение для пригодных площадок размещения ППЗРО оценочных прогнозных расчетов оценки долговременной безопасности с целью выбора оптимальной площадки**

55. Оценку долговременной безопасности на этапе выбора площадки ППЗРО рекомендуется выполнять в целях предварительной (примерной) консервативной оценки радиационного воздействия ППЗРО на население и окружающую среду, обусловленного возможной миграцией радионуклидов из радиоактивных отходов и их распространением за пределы барьеров безопасности ППЗРО в окружающую среду после закрытия ППЗРО в период потенциальной опасности захороненных радиоактивных отходов.

56. При проведении оценки долговременной безопасности ППЗРО на этапе выбора площадки рекомендуется выделять следующие основные этапы:

- разработка основных положений оценки долговременной безопасности ППЗРО;

- описание системы захоронения радиоактивных отходов, сбор и подготовка исходных данных;

- разработка и обоснование сценариев эволюции системы захоронения радиоактивных отходов;

- разработка и обоснование концептуальных и математических моделей и их реализация с помощью программ для ЭВМ;

- анализ результатов оценки долговременной безопасности с учетом их неопределенностей (погрешностей).

### **Основные положения оценки долговременной безопасности ППЗРО**

57. При выполнении оценки долговременной безопасности ППЗРО рекомендуется определять:

- критерии долговременной безопасности ППЗРО и результаты прогнозных расчетов;

- критические группы населения;

- временные периоды для разработки сценариев и выполнения прогнозных расчетов.

### **Исходные данные для проведения оценки долговременной безопасности ППЗРО**

58. На этапе выбора площадки ППЗРО рекомендуется использовать в качестве источников исходных данных для проведения оценки долговременной безопасности ППЗРО:

- материалы декларации о намерениях, обоснования инвестиций строительства ППЗРО;

- задание на проектирование ППЗРО;

результаты выполненных инженерных изысканий, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;

фондовые, справочные и литературные данные;

результаты исследований площадки и района размещения ППЗРО, в том числе инженерных изысканий;

данные экспериментальных исследований защитных, задерживающих, прочностных и изолирующих свойств аналогичных материалов инженерных барьеров безопасности ППЗРО;

данные о закономерностях миграции радионуклидов, полученные при изучении природных аналогов, таких как рудные месторождения, содержащие природные радионуклиды;

характеристики критической группы.

59. Объем исходных данных, необходимых для выполнения количественных прогнозных расчетов, рекомендуется уточнять с учетом информации о выявляемых событиях, явлениях и факторах, влияющих на долговременную безопасность ППЗРО, а также по мере получения новых или уточненных сведений о характеристиках барьеров безопасности ППЗРО и изменении их свойств во времени.

### **Сценарии эволюции системы захоронения РАО**

60. На основании имеющихся предварительных исходных данных о характеристиках ППЗРО и условиях его размещения рекомендуется разрабатывать сценарии, представляющие собой возможные последовательности логически связанных и упорядоченных во времени событий, явлений и факторов, а также процессов, происходящих в системе захоронения радиоактивных отходов.

61. В сценариях рекомендуется учитывать:

свойства (условия, характеристики, особенности) ППЗРО, площадки и района его размещения, влияющие на долговременную безопасность ППЗРО, которые описываются качественными или количественными значениями;

внешние воздействия природного и техногенного происхождения, свойственные району размещения и площадке ППЗРО;

процессы, определяющие миграцию радионуклидов в системе захоронения радиоактивных отходов и окружающей среде, в том числе выход радионуклидов из компаундов (матричных материалов с включенными в них радиоактивных отходов) и упаковок радиоактивных отходов;

факторы, которые могут прямо или косвенно влиять на миграцию радионуклидов в системе захоронения радиоактивных отходов и окружающей среде;

возможные пути миграции радионуклидов в системе захоронения радиоактивных отходов и окружающей среде;



исходные события, учитываемые при оценке долговременной безопасности системы захоронения радиоактивных отходов, установленные законодательством о ядерной и радиационной безопасности;

механизмы облучения критической группы населения.

62. На основании анализа возможности реализации в системе захоронения радиоактивных отходов событий, явлений и факторов, приведенных в перечне событий, явлений и факторов, учитываемых при оценке долговременной безопасности ППЗРО, рекомендуется в сценарии включать те события, явления и факторы, которые индивидуально или в сочетании с другими будут оказывать влияние на долговременную безопасность ППЗРО.

63. В зависимости от частоты реализации учитываемых событий, явлений и факторов рекомендуется разрабатывать сценарии следующих типов:

сценарий нормальной эволюции (наиболее вероятный сценарий), то есть последовательность наиболее вероятных событий, явлений и факторов, в том числе процессов, влияющих на долговременную безопасность ППЗРО;

альтернативные сценарии, то есть вероятные отклонения системы захоронения радиоактивных отходов от ее нормальной эволюции, которые могут приводить к более негативным последствиям для системы захоронения радиоактивных отходов, приводящим к изменению механизмов, путей и (или) скорости миграции радионуклидов в системе захоронения радиоактивных отходов и окружающей среде, включая маловероятные сценарии, обусловленные катастрофическими внешними воздействиями природного и техногенного характера на площадке размещения ППЗРО.

64. При разработке сценария нормальной эволюции рекомендуется учитывать:

наиболее вероятные пути миграции радионуклидов в системе захоронения радиоактивных отходов;

относительное постоянство (стабильность) геолого-тектонических, геодинамических, геологических, сеймотектонических и сейсмических условий района размещения и площадки ППЗРО;

изменение климата по наиболее вероятному климатическому сценарию;

постоянство условий окружающей среды и образа жизни населения.

65. При разработке сценария нормальной эволюции рекомендуется учитывать постепенное снижение защитных, задерживающих, прочностных и изолирующих свойств инженерных барьеров безопасности со временем в результате внутренних воздействий и процессов, включая:

образование химических соединений, снижающих изолирующие свойства барьеров безопасности;

газовыделение в результате коррозии контейнеров и конструкционных материалов, а также биогенных процессов;

микробиологически связанные процессы (в том числе разложение органических составляющих радиоактивных отходов);

длительные радиационные воздействия;

длительные тепловые нагрузки от тепловыделяющих радиоактивных отходов;

механическое воздействие вышележащих горных пород;

физико-химическое (геохимическое) взаимодействие радиоактивных отходов со средами ближней зоны ППЗРО.

66. При разработке альтернативных сценариев рекомендуется учитывать:

внешние воздействия природного и техногенного происхождения, свойственные району размещения ППЗРО, способные привести к ухудшению изолирующих и прочностных свойств естественных барьеров безопасности, нарушению целостности и отказам инженерных барьеров безопасности, включая:

активизацию тектонических процессов;

изменения сейсмического режима, включая катастрофические воздействия землетрясений выше МРЗ;

изменения гидрогеологического режима в результате изменения климатических условий и (или) хозяйственной (экономической) деятельности человека в районе размещения ППЗРО;

внутренние воздействия и недостатки в системе инженерных барьеров безопасности, приводящие к их отказам и раннему выходу из строя, включая возникновение самоподдерживающейся цепной реакции деления после закрытия ППЗРО, дефекты производственного характера, ошибки при создании системы инженерных барьеров безопасности;

непреднамеренное вторжение человека в систему захоронения радиоактивных отходов, включая буровые и горные работы, различные виды промышленной деятельности на площадке ППЗРО, приводящие в том числе к вскрытию ячеек захоронения радиоактивных отходов.

67. При разработке сценария непреднамеренного вторжения человека в систему захоронения радиоактивных отходов рекомендуется учитывать, что лицо или группа лиц, осуществивших вторжение в систему захоронения радиоактивных отходов, может в течение некоторого времени подвергаться радиационному воздействию извлеченных на поверхность радиоактивных отходов, не подозревая о существующей опасности.

68. Для сценариев непреднамеренного вторжения человека в систему захоронения радиоактивных отходов рекомендуется определить референтную группу, то есть группу лиц (лицо), однородную по условиям профессиональной деятельности, предполагающей вторжение в систему захоронения радиоактивных отходов, подвергающихся наибольшему радиационному воздействию по рассматриваемому в данном сценарии пути облучения (например, рабочие, осуществляющие буровые работы, дорожные рабочие, выполняющие земляные работы на территории закрытого ППЗРО).

69. Рекомендуется определять конечный перечень сценариев эволюции системы захоронения радиоактивных отходов, которые в совокупности позволят учесть основные особенности и неопределенности возможной эволюции системы захоронения радиоактивных отходов.

#### **Концептуальная модель системы захоронения радиоактивных отходов**

70. После разработки сценариев рекомендуется выбрать принципиальную схему для их последующего количественного анализа. С этой целью рекомендуется разрабатывать концептуальную модель системы захоронения радиоактивных отходов, представляющую собой качественные предположения о ее прогнозируемом функционировании.

71. При разработке концептуальной модели рекомендуется рассматривать систему захоронения радиоактивных отходов и область ее влияния как совокупность следующих составляющих:

ближней зоны ППЗРО, к которой относятся подземные сооружения и конструкции ППЗРО, горные выработки, включая нарушенную зону горных выработок, ячейки захоронения радиоактивных отходов и инженерные барьеры безопасности, включая упаковки радиоактивных отходов;

дальней зоны ППЗРО, к которой относится геологическая среда, на которую не оказывалось влияние при сооружении и эксплуатации ППЗРО, в которой прогнозируется миграция радионуклидов, вышедших из ближней зоны ППЗРО;

окружающей среды, включая население.

72. При разработке концептуальной модели системы захоронения радиоактивных отходов рекомендуется обобщать сведения, полученные при сборе и подготовке исходных данных о характеристиках ППЗРО и условиях его размещения, в том числе:

описание характеристик системы захоронения радиоактивных отходов, ее отдельных элементов и их взаимосвязи;

описание общей концепции обеспечения безопасности системы захоронения радиоактивных отходов и функций безопасности для каждого из элементов системы, важных для безопасности;

описание выполнения элементами системы захоронения радиоактивных отходов возложенных на них функций безопасности при нормальной эволюции системы и при внешних и внутренних воздействиях, учитываемых в альтернативных сценариях;

описание технических решений, предусмотренных проектом ППЗРО для реализации принципов и требований безопасности;

описание геологических, гидрогеологических, радиационных, химических, биологических, механических, тепловых и других процессов, которые могут повлиять на эволюцию системы захоронения радиоактивных отходов;

описание характеристик радиоактивных отходов с учетом пространственной неоднородности радиоактивных отходов;

описание предполагаемых изменений свойств и поведения элементов системы захоронения радиоактивных отходов и их взаимодействия во времени, в том числе их защитных, задерживающих и изолирующих свойств;

описание предполагаемых изменений условий окружающей среды и их воздействия на элементы системы захоронения радиоактивных отходов;

описание возможных механизмов путей миграции радионуклидов при нормальной эволюции системы захоронения радиоактивных отходов и при альтернативных сценариях;

описание неопределенностей, обусловленных неполнотой имеющейся информации.

73. Разработанную концептуальную модель рекомендуется использовать в качестве основы для разработки математической (расчетной) модели (или моделей), представляющей собой совокупность математических соотношений, уравнений и неравенств, описывающих основные закономерности, присущие изучаемым системе захоронения радиоактивных отходов и внешним и внутренним процессам с соответствующими начальными и граничными условиями.

### **Математическая модель процессов, влияющих на долговременную безопасность ППЗРО**

74. Разработанную концептуальную модель системы захоронения радиоактивных отходов или ее отдельных элементов (ближней и дальней зон, окружающей среды) рекомендуется учитывать при разработке математических моделей процессов, влияющих на долговременную безопасность ППЗРО.

75. При оценке долговременной безопасности ППЗРО рекомендуется использовать математические модели, разработанные с целью учета процессов, происходящих в системе захоронения радиоактивных отходов, в том числе:

в ближней зоне ППЗРО:

модель источника радионуклидов;

модель миграции радионуклидов в нарушенной зоне горных выработок ППЗРО (приконтурной зоне горной выработки ППЗРО, изолирующие и задерживающие свойства которой ухудшились в результате сооружения, эксплуатации и закрытия ППЗРО);

в дальней зоне ППЗРО:

модель миграции радионуклидов в геологической среде;

в окружающей среде (биосферные модели):

модель переноса радионуклидов в поверхностной гидросфере;

модель атмосферного переноса радионуклидов (для сценариев вторжения человека в систему захоронения радиоактивных отходов);

модель радиационного воздействия на население и окружающую среду.

76. При моделировании миграции радионуклидов в системе захоронения радиоактивных отходов и окружающей среде рекомендуется учитывать цепочки радиоактивных превращений, а также радиационные и физико-химические характеристики дочерних радионуклидов, в том числе миграционные.

77. Для моделирования источника радионуклидов рекомендуется использовать:

модели динамики выхода радионуклидов из компаундов и упаковок радиоактивных отходов;

модели растворения, растрескивания и механического разрушения компаундов вследствие тепловых, химических, радиационных и биологических процессов;

модели теплового режима отдельных элементов и всего ППЗРО вместе с вмещающей средой;

модели напряженно-деформированного состояния и прочности элементов ППЗРО и вмещающей среды.

78. Для моделирования миграции радионуклидов в геологической среде рекомендуется использовать:

модели фильтрации в гомогенной пористой среде;

модели фильтрации в трещиноватой среде;

модели адвективно-диффузионно-дисперсионного массопереноса с учетом химических взаимодействий в системе вода - порода, в частности сорбции.

79. При моделировании миграции радионуклидов в геологической среде рекомендуется учитывать:

тепловыделение, обусловленное радиоактивным распадом, и теплоперенос;

тепловую конвекцию;

газообразование;  
 коллоидный перенос радионуклидов;  
 изменение напряженно-деформированного состояния породы (геомеханические процессы) и его влияние на параметры фильтрационных и миграционных процессов.

80. Для моделирования радиационного воздействия на население и окружающую среду рекомендуется использовать математические модели:  
 внешнего облучения от поверхности почвы, загрязненной радионуклидами в результате орошения;

внутреннего облучения ингаляционным путем;

внутреннего облучения в результате потребления растительной пищи, выращенной на загрязненной почве;

внутреннего облучения в результате потребления мясомолочной продукции, произведенной от животных, вскормленных на загрязненной территории;

внутреннего и внешнего облучения в результате потребления и использования воды, загрязненной радионуклидами;

внутреннего облучения в результате непреднамеренного (случайного) поступления радионуклидов в организм (например, с частицами почвы);

внутреннего облучения в результате потребления рыбы.

**Анализ результатов оценки долговременной безопасности с учетом их неопределенностей (погрешностей)**

81. При выполнении анализа чувствительности расчетной модели рекомендуется определять:

какие из параметров расчетной модели вносят наибольший вклад в неопределенность результата расчета;

какие из параметров расчетной модели слабо влияют на неопределенность результата расчета и соответственно могут быть зафиксированы в наиболее вероятном значении.

82. Для количественной оценки значимости параметра расчетной модели рекомендуется использовать методы глобального анализа чувствительности. Например, при использовании вариационного метода анализа чувствительности значение индекса полного порядка, под которым понимается вклад параметра в итоговую неопределенность результата моделирования с учетом всех его взаимодействий с другими параметрами, меньше 0,01 обеспечивает низкую значимость параметра.

Варьирование параметров, оказывающих влияние на результат расчетной модели, рекомендуется выполнять в пределах обоснованных диапазонов значений.

83. Расчетную модель рекомендуется пересматривать, если по результатам анализа чувствительности наблюдается:

сильное влияние на результат параметра расчетной модели, который с физической точки зрения не может сильно влиять на результат моделирования;

незначительное влияние на результат всех параметров расчетной модели.

84. По результатам анализа чувствительности расчетной модели рекомендуется в целях снижения погрешности результатов моделирования для параметров расчетной модели, оказывающих влияние на результат расчетной модели, выполнять калибровку расчетной модели путем подбора параметров расчетной модели до получения результатов, соответствующих экспериментальным данным.

Калибровку расчетной модели рекомендуется осуществлять итеративно путем уточнения отдельных модулей многомодульных моделей и расчетной модели в целом.

85. Численные прогнозные расчеты при оценке долговременной безопасности ППЗРО рекомендуется проводить с использованием программ для ЭВМ, реализующих соответствующие математические модели и содержащих численные схемы для решения уравнений математических моделей. При этом могут быть использованы как существующие, так и специально разработанные для этой цели программы для ЭВМ.

### **Консервативный подход к оценке долговременной безопасности ППЗРО**

86. Оценочные прогнозные расчеты оценки долговременной безопасности на стадии выбора площадки ППЗРО из пригодных площадок размещения ППЗРО рекомендуется выполнять на основе консервативного подхода.

87. При использовании консервативного подхода к оценке долговременной безопасности ППЗРО рекомендуется в сценариях и расчетной модели в качестве исходных данных и расчетных параметров использовать данные (в пределах допустимых диапазонов их значений), а также допущения, предположения и граничные условия, заведомо приводящие к наиболее неблагоприятным результатам, то есть в предположении максимального радиационного воздействия ППЗРО на критическую группу населения.

88. При использовании консервативного подхода к оценке долговременной безопасности ППЗРО рекомендуется использовать детерминистический подход, при котором параметрам расчетной модели из диапазонов их возможных значений присваиваются фиксированные значения, при которых по результатам прогнозных расчетов радиационное воздействие ППЗРО на население и окружающую среду будет наибольшим.

89. В рамках консервативного подхода допускается использовать экспертный метод, основанный на анализе и формализации мнений квалифицированных специалистов (экспертов), их знания характеристик ППЗРО и условий его размещения, возможных состояний системы захоронения радиоактивных отходов и ее эволюции в предполагаемых условиях, а также имеющегося опыта.

90. В рамках консервативного подхода к оценке долговременной безопасности ППЗРО рекомендуется разрабатывать упрощенные расчетные модели, основанные в том числе на аналитических решениях уравнений массопереноса радионуклидов в системе инженерных барьеров безопасности ППЗРО и геологической среде и методе камерного моделирования.

91. При моделировании переноса радионуклидов из ППЗРО в окружающей среде в рамках упрощенной модели допустимо:

ограничить круг рассматриваемых процессов наиболее значимыми;  
рассматривать схематичное описание системы захоронения радиоактивных отходов;

принимать упрощенное описание процессов выхода радионуклидов из источника;

предполагать постоянство условий переноса радионуклидов;

принимать упрощенные граничные и начальные условия;

использовать упрощенные модели процессов переноса радионуклидов;

предполагать гомогенность сред, в которых происходит перенос радионуклидов.

92. Численные прогнозные расчеты при оценке долговременной безопасности ППЗРО рекомендуется проводить с использованием программ для ЭВМ, реализующих соответствующие математические модели и содержащих численные схемы для решения уравнений математических моделей.

## **ГЛАВА 4**

### **Подготовка отчета по обоснованию безопасности ППЗРО и материалов оценки долговременной безопасности ППЗРО на стадии выбора площадки размещения ППЗРО**

93. Сведения, обосновывающие выбор площадки, рекомендуется представлять в виде отчета по обоснованию безопасности и материалов оценки долговременной безопасности ППЗРО.

94. В отчете по обоснованию безопасности на стадии выбора площадки размещения ППЗРО рекомендуется представлять информацию



о характеристиках площадок, обеспечивающих выполнение основных требований к обеспечению безопасности ППЗРО:

реализация принципа многобарьерности, применение системы барьеров безопасности (инженерных и естественных) на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду при эксплуатации и после закрытия ППЗРО;

обеспечение защиты ППЗРО от природных и техногенных воздействий;

обоснование долговременной безопасности системы захоронения радиоактивных отходов после закрытия ПЗРО;

установление санитарно-защитной зоны.

95. В материалах оценки долговременной безопасности ППЗРО рекомендуется представлять основные положения оценки долговременной безопасности ППЗРО:

цель проведения оценки долговременной безопасности;

критерии и показатели безопасности, расчетные величины;

критическая группа населения;

период контроля (наблюдения после закрытия ППЗРО) и период времени, для которого выполняется оценка долговременной безопасности (расчетный период).

96. Рекомендуется представлять исходные данные, применяемые при проведении долговременной оценки безопасности ППЗРО, характеризующие область источника радионуклидов, ближнюю и дальнюю зоны (вмещающие и (или) несущие горные породы) ППЗРО, окружающую среду.

97. Рекомендуется представлять описание разработки сценариев эволюции ППЗРО, то есть возможных последовательностей логически связанных между собой событий, явлений и факторов природного и техногенного происхождения и физико-химических процессов, определяющих возможную эволюцию системы захоронения радиоактивных отходов ППЗРО, миграцию радионуклидов через инженерные конструкции, их распространение в окружающей среде и соответствующее воздействие на население и окружающую среду, концептуальные и математические модели, соответствующие разработанным сценариям.

98. Рекомендуется представить обоснование того, что в совокупности сценарии позволят учесть основные особенности возможной эволюции ППЗРО и процессы, определяющие его радиационное воздействие на население и окружающую среду.

99. При рассмотрении катастрофических (маловероятных) воздействий природного или техногенного происхождения рекомендуется представлять рассматриваемый перечень событий, явлений, факторов

природного и техногенного происхождения и физико-химических процессов, влияющих на безопасность ППЗРО после закрытия, учитываемых при разработке сценариев эволюции в соответствии с перечнем исходных событий.

100. При рассмотрении катастрофических (маловероятных) воздействий природного или техногенного происхождения рекомендуется указывать информацию о виде и степени воздействия на ППЗРО, а также о вероятности и длительности предполагаемого воздействия.

101. Для каждого сценария эволюции ППЗРО рекомендуется определять соответствующие сценарии облучения населения и критические группы населения в рассматриваемый период времени, механизмы облучения населения.

102. Для каждого сценария рекомендуется представлять и обосновывать концептуальные модели (модель), то есть концептуальные предположения об особенностях эволюции системы захоронения радиоактивных отходов, происходящих в ней и вне ее событиях, явлениях и факторах природного и техногенного происхождения и физико-химических процессах, влияющих на безопасность системы захоронения радиоактивных отходов, а также определяющие и описывающие процессы переноса радионуклидов от источника в окружающую среду и радиационное воздействие на население и окружающую среду.

103. При описании концептуальной модели рекомендуется схематично представлять:

характеристики системы захоронения радиоактивных отходов как источника радионуклидов, ее элементов и взаимосвязи между ними;

эволюцию системы захоронения радиоактивных отходов в соответствии с принятым сценарием;

перечень учитываемых событий, явлений и факторов природного и техногенного происхождения и физико-химических процессов;

свойства геосферы в районе размещения ППЗРО;

свойства биосферы в районе размещения ППЗРО;

физико-химические процессы, определяющие выход радионуклидов за пределы хранилища;

процессы, определяющие миграцию радионуклидов в биосфере;

механизмы воздействия радионуклидов на человека и окружающую среду;

пределы применимости концептуальной модели в рассматриваемых пространственной области и временном диапазоне.

104. Для каждой концептуальной модели рекомендуется представлять и обосновывать математические модели (модель), соответствующие рассматриваемой концептуальной модели и разработанному сценарию.

105. Рекомендуется представлять результаты численных прогнозных расчетов потенциального радиационного воздействия на население и окружающую среду.

106. Вывод об обеспечении безопасности ППЗРО рекомендуется делать путем сопоставления значений расчетных величин, полученных в результате прогнозных расчетов, с установленными критериями (показателями) безопасности ППЗРО, с учетом неопределенностей и погрешности результатов.

107. Результаты прогнозных расчетов и обоснование их достоверности рекомендуется представлять с указанием результатов качественного и количественного анализа неопределенности, обусловленной неопределенностью сценариев, моделей, исходных данных и расчетных параметров.

108. Рекомендуется представлять краткое описание программ для ЭВМ, использованных при реализации моделей и при расчетах, включая информацию о назначении программ для ЭВМ, реализуемых методах расчета, основных ограничениях и принятых допущениях.

109. Рекомендуется представлять обоснование адекватности, достоверности и точности математических моделей, применяемых расчетных методик и расчетных схем путем сравнения численных решений с аналитическими решениями, полученными при применении других моделей, адекватность, достоверность и точность которых оценена, с результатами, полученными по отечественным и зарубежным реперным и (или) ранее аттестованными программными средствами (при наличии), а также с экспериментальными и эксплуатационными данными.

110. Оценка участков-кандидатов (альтернативных, приоритетных площадок) на основе моделей позволяет усилить аргументацию относительно свойств площадки размещения ППЗРО, представляемую в регулирующий орган, дополнить доказательства, выявленные непосредственно в существующих гидрогеологических данных, оценить участок для диапазона неопределенностей в гидрогеологических данных, оценить значимость неустраняемых неопределенностей, определить значимость уменьшаемых неопределенностей.

## Приложение

к Руководству по ядерной и радиационной безопасности «Выбор площадки размещения пункта приповерхностного захоронения радиоактивных отходов»

### ПРИМЕР

реализации метода ранжирования для выбора площадки размещения ППЗРО

#### Формирование иерархии целей

В соответствии с идеологией метода анализа иерархий производится декомпозиция задачи принятия решений в виде иерархической структуры, которая объединяет цель выбора, критерии и рассматриваемые альтернативы (рисунок А.1).

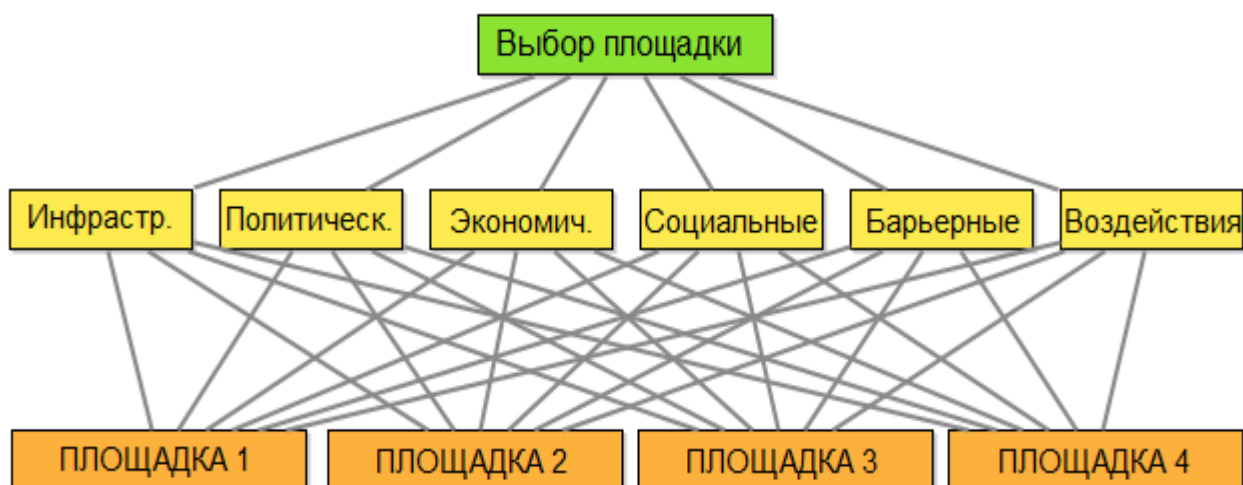


Рисунок А.1 – Иерархическая структура задачи выбора площадки ППЗРО

В качестве альтернатив рассматриваются 4 гипотетические площадки размещения ППЗРО: Площадки 1 – 4.

Сравнение площадок размещения ППЗРО осуществляется относительно следующих шести критериев:

- Инфраструктурные (К1);
- Политические (К2);
- Экономико-логистические (К3);
- Социальные (К4);

Барьерные свойства геологической среды (К5);  
Воздействия природного и техногенного происхождения (К6).

### Определение приоритетов

Чтобы установить приоритеты критериев, получить оценки для альтернативных решений, строятся матрицы парных сравнений  $A = \|a_{ij}\|$ . Элемент  $a_{ij}$  матрицы парных сравнений является результатом измерения по шкале относительной важности альтернативы  $A_i$  по отношению к альтернативе  $A_j$ .

Первоначально строится матрица парных сравнений для шести критериев К1 – К6, используемых в иерархии. Матрица парных сравнений критериев приведена в таблице А.1.

Поскольку настоящий пример носит иллюстративный характер, степень значимости одного критерия над другим задавалась произвольным образом.

Таблица А.1 – Матрица парных сравнений критериев

№	0	1	2	3	4	5	6
пп	Критерий	К1	К2	К3	К4	К5	К6
1	К1	1	9	5	7	4	3
2	К2	1/9	1	1/5	1/3	1/6	1/7
3	К3	1/5	5	1	3	1/2	1/3
4	К4	1/7	3	1/3	1	1/4	1/5
5	К5	1/4	6	2	4	1	1/2
6	К6	1/3	7	3	5	2	1

Например, в таблице А.1 значение на пересечении строки 1 и столбца 2, равное 9, свидетельствует о максимально возможном приоритете критерия К1 по сравнению с критерием К2. Соответственно критерий К2 очень мало значим в сравнении с критерием К1, поэтому значение на пересечении 1-го столбца и второй строки равно 1/9.

### Расчет локальных векторов приоритетов

Для каждой матрицы выполняется расчет локальных приоритетов сравниваемых элементов. Каждой строке матрицы, а следовательно, соответствующему элементу, ставится в соответствие среднее геометрическое ее элементов. Суммируя полученные результаты, следует разделить средние геометрические каждой из строк матрицы на эту сумму.

В результате получаем локальные приоритеты (веса) соответствующих сравниваемых элементов.

В рассматриваемой матрице парных сравнений критериев вектор локальных приоритетов по каждому из критериев вычислен в столбце 9 таблицы А.2. Например, локальный приоритет по критерию К1 получен как частное от деления 3,947 на 8,886.

Таблица А.2 – Расчет локальных векторов приоритетов

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Критерий	К1	К2	К3	К4	К5	К6	П <sup>2</sup>	СГ <sup>3</sup>	ЛВП <sup>4</sup>
К1	1	9	5	7	4	3	3780	3,947	<b>0,444</b>
К2	1/9	1	1/5	1/3	1/6	1/7	0,0002	0,237	0,027
К3	1/5	5	1	3	1/2	1/3	0,495	0,891	0,100
К4	1/7	3	1/3	1	1/4	1/5	0,007	0,439	0,049
К5	1/4	6	2	4	1	1/2	6	1,348	0,152
К6	1/3	7	3	5	2	1	69,3	2,030	0,228
Сумма	2,04	31,00	11,53	20,33	7,92	5,18		8,886	1,000

Наибольшее значение в столбце 9 таблицы А.2 получено для критерия К1, таким образом данный критерий имеет наибольший вес (выделено жирным).

### Расчет индекса согласованности

На данном этапе выполняется проверка на непротиворечивость экспертных оценок, выполненных на предыдущем шаге. Для этого определяется так называемый индекс согласованности суждений (ИС) по следующей формуле:

$$ИС = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (A.1)$$

где: n – размерность матрицы;

<sup>2</sup> Под символом «П» понимается произведение элементов i-ой строки.

<sup>3</sup> Под символами «СГ» понимается среднее геометрическое элементов i-ой строки.

<sup>4</sup> Под символом «ЛВП» понимается локальный вектор приоритетов - отношение СГ к сумме СГ.

$\lambda_{\max}$  – собственное максимальное значение матрицы, которое определяется следующим образом:

суммируется каждый столбец матрицы парных сравнений;

сумма первого столбца умножается на первую компоненту локального вектора приоритетов (расположен в первой строке столбца 9), сумма второго столбца на вторую компоненту и т.д.;

полученные произведения суммируются.

Далее необходимо сравнить значение ИС с той величиной параметра СИ, которая получилась бы при случайном выборе суждений по шкале (1/9 ... 9) для заданного значения. Значения параметра СИ в зависимости от размерности матрицы приведены в таблице А.3.

Таблица А.3 – Значения показателя СИ

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СИ	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Отношение согласованности (ОС) определяется следующим образом:

$$ОС = \frac{ИС}{СИ} \quad (A.2)$$

Если для матрицы парных сравнений окажется, что  $ОС > 0,1$ , то можно утверждать, что оценки эксперта, на основе которых заполнена исследуемая матрица, сильно рассогласованы, и ему следует заполнить матрицу заново, более внимательно используя при этом шкалу относительной важности. В противном случае оценки эксперта принимаются.

Для матрицы парных сравнений, приведенной в таблице 3, собственное максимальное значение матрицы ( $\lambda_{\max}$ ) определяется следующим образом:

$$\lambda_{\max} = (2,04 \cdot 0,444) + (31,00 \cdot 0,027) + (11,53 \cdot 0,100) + (20,33 \cdot 0,049) + (7,92 \cdot 0,152) + (5,18 \cdot 0,228) = 6,277$$

$$ИС = |\lambda_{\max} - n| / (n-1) = |6,277 - 6| / (6-1) = 0,055$$

Для  $n = 6$  (размерность матрицы) из таблицы 4 получаем  $СИ = 1,24$ . Тогда  $ОС = ИС / СИ = 0,055 / 1,24 = 0,044 < 0,1$ . Полученное значение  $ОС$  не превышает  $0,1$ , что означает, что оценки эксперта согласованы.

### Попарное сравнение альтернатив

На данном этапе проводится попарное сравнение альтернатив (площадок) по каждому критерию аналогично тому, как это делалось для критериев.

Поскольку в настоящем примере рассматриваются гипотетические площадки размещения ППЗРО, то в парном сравнении степень их соответствия каждому критерию задавалась произвольным образом.

#### 1. Определение приоритетов по критерию К1

Определение приоритетов по критерию К1 представлено в таблице А.4.

Таблица А.4 – Матрица попарных сравнений альтернатив для критерия К1

К1	Пл.1	Пл.2	Пл.3	Пл.4	СГ	ЛВП
Пл.1 <sup>5</sup>	1	7	1/2	8	2,300	0,355
Пл.2	1/7	1	1/8	2	0,435	0,067
Пл.3	2	8	1	9	3,464	<b>0,534</b>
Пл.4	1/8	1/2	1/9	1	0,289	0,044
Итого	3,27	16,50	1,74	20,00	6,488	1,00

Оценка согласованности мнений эксперта определяется следующим образом:

$$\lambda_{max} = (3,27 \times 0,355) + (16,50 \times 0,067) + (1,74 \times 0,534) + (20,00 \times 0,044) = 4,076;$$

$$ИС = |4,076 - 4| / (4 - 1) = 0,025;$$

$$ОС = ИС / СИ = 0,025 / 0,9 = 0,028 < 0,1.$$

По критерию К1 наиболее приоритетной является площадка 3 (выделено жирным шрифтом).

#### 2. Определение приоритетов по критерию К2

Определение приоритетов по критерию К2 представлено в таблице А.5.

<sup>5</sup> Под символами Пл.1 понимается площадка №1.



Таблица А.5 – Матрица попарных сравнений альтернатив для критерия К2

К2	Пл.1	Пл.2	Пл.3	Пл.4	СГ	ЛВП
Пл.1	1	4	1/6	1	0,904	0,143
Пл.2	1/4	1	1/9	1/4	0,289	0,046
Пл.3	6	9	1	6	4,243	<b>0,669</b>
Пл.4	1	4	1/6	1	0,904	0,143
Итого	8,25	18	1,44	8,25	6,339	1,00

Оценка согласованности мнений эксперта определяется следующим образом:

$$\lambda_{max} = (8,25 \times 0,143) + (18,0 \times 0,046) + (1,44 \times 0,669) + (8,25 \times 0,143) = 4,151;$$

$$ИС = |4,151 - 4| / (4 - 1) = 0,050;$$

$$ОС = 0,050 / 0,9 = 0,056 < 0,1.$$

По критерию К2 наиболее приоритетной является площадка 3 (выделено жирным шрифтом).

### 3. Определение приоритетов по критерию К3

Определение приоритетов по критерию К3 представлено в таблице А.6.

Таблица А.6 – Матрица попарных сравнений альтернатив для критерия К3

К3	Пл.1	Пл.2	Пл.3	Пл.4	СГ	ЛВП
Пл.1	1	1/5	3	1/7	0,541	0,085
Пл.2	5	1	7	1/3	1,848	0,291
Пл.3	1/3	1/7	1	1/9	0,270	0,042
Пл.4	7	3	9	1	3,708	<b>0,582</b>
Итого	13,33	4,34	20,00	1,59	6,367	1,00

Оценка согласованности мнений эксперта определяется следующим образом:

$$\lambda_{max} = (13,33 \times 0,085) + (4,34 \times 0,290) + (20,00 \times 0,042) + (1,59 \times 0,582) = 4,157;$$

$$ИС = |4,157 - 4| / (4 - 1) = 0,052;$$

$$ОС = 0,052 / 0,9 = 0,058 < 0,1.$$

По критерию К3 наиболее приоритетной является площадка 4 (выделено жирным шрифтом).

#### 4. Определение приоритетов по критерию К4

Определение приоритетов по критерию К4 представлено в таблице А.7.

Таблица А.7 – Матрица попарных сравнений альтернатив для критерия К4

К4	Пл.1	Пл.2	Пл.3	Пл.4	СГ	ЛВП
Пл.1	1	5	1/5	1/5	0,669	0,11
Пл.2	1/5	1	1/9	1/9	0,280	0,037
Пл.3	5	9	1	1	2,590	<b>0,427</b>
Пл.4	5	9	1	1	2,590	<b>0,427</b>
Итого	11,20	24	2,31	2,31	6,072	1,00

Оценка согласованности мнений эксперта определяется следующим образом:

$$\lambda_{max} = (11,50 \times 0,11) + (24 \times 0,037) + (2,31 \times 0,427) + (2,31 \times 0,427) = 4,09;$$

$$ИС = |4,09 - 4| / (4 - 1) = 0,03;$$

$$ОС = 0,03 / 0,9 = 0,032 < 0,1.$$

По критерию К4 наиболее высоким приоритетом обладают 2 площадки: площадка 3 и площадка 4 (выделено жирным шрифтом).

#### 5. Определение приоритетов по критерию К5

Определение приоритетов по критерию К5 представлено в таблице А.8.

Таблица А.8 – Матрица попарных сравнений альтернатив для критерия К5

К5	Пл.1	Пл.2	Пл.3	Пл.4	СГ	ЛВП
Пл.1	1	5	7	1	2,432	<b>0,424</b>
Пл.2	1/5	1	3	1/5	0,589	0,103
Пл.3	1/7	1/3	1	1/7	0,287	0,050
Пл.4	1	5	7	1	2,432	<b>0,424</b>
Итого	2,34	11,33	18,00	2,34	5,740	1,00

Оценка согласованности мнений эксперта определяется следующим образом:

$$\lambda_{max} = (2,34 \times 0,424) + (11,33 \times 0,103) + (18,00 \times 0,050) + (2,34 \times 0,424) = 4,051;$$

$$ИС = |4,051 - 4| / (4 - 1) = 0,017;$$

$$ОС = 0,017 / 0,9 = 0,019 < 0,1.$$

По критерию К5 наиболее высоким приоритетом обладают 2 площадки: площадка 1 и площадка 4 (выделен жирным шрифтом).

#### 6. Определение приоритетов по критерию К6

Определение приоритетов по критерию К6 представлено в таблице А.9.

Таблица А.9 – Матрица попарных сравнений альтернатив для критерия К6

К6	Пл.1	Пл.2	Пл.3	Пл.4	СГ	ЛВП
Пл.1	1	1/5	3	1/7	0,541	0,085
Пл.2	5	1	7	1/3	1,848	0,29
Пл.3	1/3	1/7	1	1/9	0,270	0,042
Пл.4	7	3	9	1	3,708	<b>0,582</b>
Итого	13,33	4,34	20,00	1,59	6,367	1.00

Оценка согласованности мнений экспертов определяется следующим образом:

$$\lambda_{max} = (13,33 \times 0,085) + (4,34 \times 0,290) + (20,00 \times 0,042) + (1,59 \times 0,582) = 4,157;$$

$$ИС = |4,157 - 4| / (4 - 1) = 0,052;$$

$$ОС = 0,052 / 0,9 = 0,058 < 0,1.$$

По критерию К6 наиболее приоритетной является площадка 4 (выделено жирным шрифтом).

#### Определение глобальных приоритетов

Локальные приоритеты альтернатив умножаются на приоритеты соответствующих критериев уровня и суммируются по каждому элементу в соответствии с критериями. В результате определяются глобальные приоритеты альтернатив с учетом приоритетов критериев. Наиболее высокий рейтинг будет соответствовать альтернативе с наибольшим значением глобального приоритета.

Расчет вектора глобальных приоритетов приведен в таблице А.10. Красным выделены приоритеты критериев, определенные в таблице А.2, курсивом выделены наиболее соответствующие площадки по каждому из критериев из соответствующих таблиц.

Таблица А.10 – Расчет глобального приоритета

№ пл.	Векторы приоритетов						ГП <sup>6</sup>
	К1	К2	К3	К4	К5	К6	
	<b>0,444</b>	<b>0,027</b>	<b>0,100</b>	<b>0,049</b>	<b>0,152</b>	<b>0,228</b>	
Пл.1	0,355	0,143	0,085	0,11	<i>0,424</i>	0,085	0,259
Пл.2	0,067	0,046	0,291	0,037	0,103	0,29	0,144
Пл.3	<i>0,534</i>	<i>0,669</i>	0,042	<i>0,427</i>	0,050	0,042	0,297
Пл.4	0,044	0,143	<i>0,582</i>	<i>0,427</i>	<i>0,424</i>	<i>0,582</i>	<b>0,3</b>
Сумма							1,00

Глобальный приоритет для рассматриваемых альтернатив определяется следующим образом:

$$\text{ГП(Пл.1)} = (0,444 \times 0,355) + (0,027 \times 0,143) + (0,100 \times 0,085) + (0,049 \times 0,109) + (0,152 \times 0,424) + (0,228 \times 0,085) = 0,259;$$

$$\text{ГП(Пл.2)} = (0,444 \times 0,067) + (0,027 \times 0,046) + (0,100 \times 0,291) + (0,049 \times 0,037) + (0,152 \times 0,103) + (0,228 \times 0,290) = 0,144;$$

$$\text{ГП(Пл.3)} = (0,444 \times 0,534) + (0,027 \times 0,669) + (0,100 \times 0,042) + (0,049 \times 0,427) + (0,152 \times 0,050) + (0,228 \times 0,042) = 0,297;$$

$$\text{ГП(Пл.4)} = (0,444 \times 0,044) + (0,027 \times 0,143) + (0,100 \times 0,582) + (0,049 \times 0,427) + (0,152 \times 0,424) + (0,228 \times 0,582) = 0,3.$$

Сравнивая полученные значения глобальных приоритетов, определяются рейтинги всех площадок размещения ППЗРО.

В настоящем примере наибольший приоритет 0,3 оказался у площадки 4 (выделен жирным шрифтом).

### Вывод

По результатам сравнительного анализа площадок размещения ППЗРО с использованием метода анализа иерархий предпочтение следует отдать площадке 4, имеющей наибольший приоритет.

<sup>6</sup> Под символами ГП понимается глобальный приоритет.