Выбор площадки для подземного комплекса атомной станции при освоении новых месторождений

Смирнов Ю. Г.^{1*}, Орлов А. О.¹

¹ Горный институт КНЦ РАН, г. Апатиты, Россия

*e-mail: smirnov@goi.kolasc.net.ru

Реферат

Введение. Строительство подземных сооружений в многолетнемерзлых породах направлено на обеспечение комплексной безопасности энергетического объекта – атомных станций малой мощности (АСММ). Немаловажное значение при проектировании и строительстве АСММ в этих условиях приобретает выбор площадки. Как правило, районы строительства связаны с отдаленностью и малой освоенностью территории. Строительство в зоне многолетней мерзлоты характеризуется сложными климатическими условиями и мерзлым состоянием грунтов, что ведет к повышению стоимостных показателей при строительстве.

Цель работы. На основании ранжирования площадок для размещения АСММ выполнена сравнительная оценка двух предлагаемых участков для расположения объектов на медно-порфировом месторождении Песчанка.

Методология. При выборе площадки значительную роль играют природно-климатические условия, которые при эксплуатации атомной станции могут повлиять как на безопасность самого ядерного объекта, так и на прилегающие территории. Выбор места размещения станции связан со многими характеристиками природной и техногенной среды.

Результаты. Определяющим фактором применения рассматриваемых энергоисточников является необходимость приближения их к основным потребителям энергии, особенно в удаленных, труднодоступных и без развитой инфраструктуры районах. В рамках концепции создания АСММ повышается значение исследований, связанных с выбором места размещения подземного радиационно опасного объекта. Методический подход по выбору площадок для строительства подземных комплексов в многолетнемерзлых породах включает их ранжирование.

Выводы. В процессе ранжирования площадок по природным и социально-экономическим критериям выявляются наиболее приемлемые участки для размещения АСММ. Результаты исследований по выбору конкретных площадок при строительстве горно-обогатительного комплекса на месторождении Песчанка позволили сделать вывод о пригодности площадки для штольневой расположения подземного комплекса.

Ключевые слова: атомная станция малой мощности; подземный комплекс; скальный массив; многолетнемерзлые породы; выбор площадки; ранжирование; месторождение Песчанка; технико-экономические показатели.

Введение. Атомные станции малой мощности (АСММ) являются энергетическими источниками для автономных потребителей, особенно в зонах децентрализованного энергоснабжения с суровым климатом, тяжелыми и дорогостоящими условиями доставки топлива и грузов, удаленностью от центров энергообеспечения. Указанные районы охватывают главным образом северную и северо-восточную части территории Российской Федерации. Сравнительные оценки специалистов говорят об экономической целесообразности строительства АСММ на данных территориях [1].

При выборе площадки очень важно установить природно-климатические условия, которые при эксплуатации атомной станции могут повлиять как на безопасность самого ядерного объекта, так и на прилегающие территории. Место расположения станции связано со многими характеристиками природной и техногенной среды, например сейсмотектоническими, геофизическими, инженерно-геологическими, гидрологическими, экологическими, радиологическими, с условиями землепользования и рядом других показателей.

Выбор площадки для ядерных энергоисточников малой мощности в полной мере должен отвечать требованиям по сейсмостойкости. Так, в частности, в соответствии с требованиями «Норм проектирования сейсмостойких атомных станций» атомная станция должна обеспечивать безопасность при сейсмических воздействиях до максимального расчетного землетрясения (МРЗ) включительно и выработку (выдачу) электрической и тепловой энергии вплоть до уровня проектного землетрясения (ПЗ) включительно (*Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. НП-031-01. URL: <http://www.bestpravo.ru/rossijskoje/vrpravo/z2w.htm> (дата обращения 20.03.2019)*). На первой стадии разработки ТЭО (обоснование инвестиций) сейсмичность района размещения атомной станции, измеряемую в баллах по шкале MSK-64, допускается принимать на основе комплекта карт ОСП-97, утвержденных Российской академией наук (*Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСП-97. URL: http://seismos-u.ifz.ru/ocp-97/abc_big.htm (дата обращения 25.03.2019); ОСП-97-D. URL: <http://seismos-u.ifz.ru/ocp-97d.htm> (дата обращения 25.03.2019)*).

Говоря об экономической составляющей в проблеме выбора площадок, следует отметить, что в оценках конкурентоспособности АСММ устоялось мнение о приоритетном значении экономического фактора. Вместе с тем в условиях развития инновационных технологий в области внедрения АСММ в сферу энергопотребления приоритетный характер этого фактора не столь очевиден [1].

Таким образом, выбор места размещения является многофакторной задачей, и окончательное решение может быть принято только после изучения всех природных характеристик и технико-экономической оценки площадки. Несмотря на имеющиеся и признанные международным сообществом рекомендации относительно выбора площадок для строительства АЭС, типовая методология выбора и ранжирования площадок для их размещения, как и выбора оптимальных из них с точки зрения природных и экономических факторов, до настоящего времени не разработана, хотя работы в этом направлении ведутся (*Методология выбора площадки под строительство АЭС. URL: <http://www.vevivi.ru/best/Metodologiya-vybora-ploshchadki-pod-stroitelstvo-AYES-ref131226.html> (дата обращения 26.03.2019)*), [2–4].

Методология. Оценка потенциальных площадок производится на основе набора критериев, сформированных в соответствии с действующими российскими и международными нормативами. Особое место в процедуре выбора площадок занимает их ранжирование, целью которого в конечном итоге является выбор места строительства на основе сравнения численных значений различных показателей, характерных для рассматриваемых площадок [5].

Дополнительным фактором, который необходимо учитывать при выборе площадок для размещения АСММ в сложных климатических условиях, является наличие многолетней мерзлоты (криолитозоны).

В этом случае необходимо предусматривать конструктивные и горнотехнические решения и подходы по предотвращению негативного влияния теплового фактора на устойчивость вмещающих горных пород и возводимых конструктив-

ных элементов. Эти решения позволят обеспечить длительное устойчивое и безремонтное состояние выработок подземных сооружений [6–9].

Выбор участков геологических формаций для строительства горных выработок подземных АСММ в зоне многолетней мерзлоты следует производить с учетом следующих факторов подземного строительства:

- обеспечение устойчивости выработок требуемых размеров и форм;
- технологическое назначение и режим эксплуатации сооружений, размещаемых в подземном пространстве;
- рельеф местности на участке предполагаемого строительства, обеспечивающий устройство преимущественно штольневых и слабонаклонных входов (выходов);
- выполнение мероприятий по защите подземного сооружения от природных источников воздействия в чрезвычайных ситуациях.

Рис. 1. Расположение месторождения Песчанка на Чукотке
Fig. 1. Location of the Peschanka deposit in Chukotka

Результаты исследований. В качестве примера рассмотрим выбор площадки под размещение подземного комплекса в районе медно-порфирового месторождения Песчанка на Чукотке. Месторождение Песчанка – наиболее крупное комплексное коренное медно-порфировое месторождение Чукотского автономного округа. Располагается в западной части Чукотского региона в долине реки Песчанка, входящей в систему левых притоков реки Большой Анюй в 200 км юго-западнее г. Билибино (рис. 1).

Месторождение Песчанка связано с многофазным плутоном, принадлежащим рудоносной габбро-монцит-сиенитовой формации [10, 11].

Главные минералы руд – пирит, халькопирит, борнит, блеклые руды, второстепенные – магнетит, гематит, сфалерит, галенит, халькозин, ильменит. Основные полезные компоненты руд – медь и молибден, главные попутные – золото и сере-

бро [12]. На рис. 2 представлены характерные природные ландшафты различных участков месторождения Песчанка.

На рис. 3 приведены места расположения месторождения Песчанка и предлагаемых участков под строительство АСММ, расположенные в различных геологических формациях и отличающиеся свойствами вмещающих пород. Ранжированию вблизи месторождения Песчанка подлежат две площадки – П1 и П2.

Рассматриваемая площадка набирает количество баллов в соответствии с экспертной оценкой каждого критерия в диапазоне от 1 до 5. Наименьшее количество баллов соответствует самым неблагоприятным условиям. Критерии для ранжирования площадок подразделяем на две основные категории.

I. Критерии, связанные с природными условиями:

- гидрогеологические (с точки зрения наличия водных ресурсов);
- сейсмические;
- географические и климатические;
- окружающая среда.

II. Социально-экономические критерии:

- места заселения человеком;
- экономические условия.

Рис. 2. Географический ландшафт в окрестностях месторождения Песчанка
Fig. 2. Geographical landscape in the vicinity of the Peschanka field

Первая категория содержит наиболее определяющие критерии отбора при выборе площадки с точки зрения безопасности. Поэтому рассмотрим эти критерии наиболее подробно.

Гидрогеологические критерии. Определяется время переноса радионуклидов (время миграции) из реакторных установок в случае аварийной ситуации к ближайшему водному источнику. Баллы площадки по времени переноса радионуклидов устанавливаются следующим образом: более 100 лет – 5 баллов, 75–100 лет – 4 балла, 50–75 лет – 3 балла.

В зависимости от свойств массива на площадках оценочная характеристика переноса радионуклидов из реакторной ядерной установки АСММ для площадок П1 и П2 составляет 5 и 4 балла соответственно.

Сейсмичность. Критерии сейсмичности связаны со стабильной эксплуатацией АСММ. Высокая сейсмичность и вероятность разлома – неблагоприятные характеристики для места расположения объекта. Уровень сейсмичности для рассматриваемых площадок составляет 6 баллов для МРЗ по шкале MSK-64 в соответствии с комплектом карт ОСР-97. Сейсмичность в районе месторождения Песчанка на рассматриваемых площадках оценивается равнозначно – в 5 баллов.

Наличие геологических разломов. Оценка площадок выполнялась с учетом следующих граничных условий: при наличии одного разлома длиной более 1 км на расстоянии менее 1 км от границ площадки количество баллов для площадки равно 1; при отсутствии каких-либо разломов длиной менее 1 км на расстоянии более 1 км от границ площадки ей присваивается 5 баллов. Оценка влияния разломов по площадкам представлена в табл. 1.

Наличие термокарстов. Критерий «термокарсты» связан с устойчивостью подземного сооружения и с риском того, что при изменении его характеристик возможно влияние подземных вод на объект. Близкое расположение термокарста – неблагоприятно. Для оценки площадок по этому критерию принимаются следующие условия: при наличии термокарстов в пределах 1 км от границ площадки

Рис. 3. Месторождение Песчанка и предлагаемые площадки для размещения АСММ
Fig. 3. The Peschanka copper deposit and the proposed sites for the location of the SNPP

количество баллов площадки равно 1, на расстоянии более 2 км от границ площадки количество баллов площадки составляет 5. На площадке П1 на расстоянии 1,5–2,0 км – наличие двух зон термокарстов. Оценка – 3 балла. На площадке П2 ближайшая зона термокарстов находится на расстоянии более 2 км. Рейтинг – 4 балла.

Воздействие на окружающую среду, животный и растительный мир во время строительства и эксплуатации. Воздействие строительства и эксплуатации и предпочтительность площадки определяется из следующих факторов:

- возможный широкий доступ на территории, защищенные от деятельности человека, или в районы дикой природы;
- отчуждение территории при строительстве;
- значительное изменение территории распространения каких-либо видов растений или животного мира;
- риск гибели одного вида редких животных или растений;

– в процессе эксплуатации атомной станции при сбросе водозаборных вод в ближайшие реки или озера возможна потеря качества и количества рыбного ресурса.

Баллы устанавливаются в соответствии с табл. 2.

Предполагается, что при строительстве и эксплуатации степень влияния АСММ на окружающую среду (животный и растительный мир) по площадкам П1 и П2 будет практически одинаковой. Рассматриваемые площадки покрыты редким смешанным лесом различной плотности. Среда обитания диких животных и растений более подвержена изменениям в тундровой зоне в силу чувствительности и слабой развитости.

Таблица 1. Оценка площадок по наличию геологических разломов
Table 1. Assessment of platforms on existence of geological faults

Площадка	Характеристика разломов	Баллы
Песчанка 1	1 разлом на расстоянии 5 км и длиной менее 1 км	5
Песчанка 2	1 разлом на расстоянии 1 км и длиной более 1 км	2

Деструкция растительности и мест обитания животных и их оценка по обоим площадкам составила 3 балла.

Оценка биологического воздействия подземной АСММ выполнена с учетом потерь территории земли или районов обитания биологических видов. Это качественная шкала отрицательных воздействий, которые могли бы возникнуть в результате строительства и эксплуатации станции на выбранной площадке. Оценка биологического воздействия по площадкам, связанная с полной потерей 0,2 км² спелого леса или потерей 50 % крупных диких животных и(или) 50 % увлажненных земель, составляет для площадок П1 и П2 3 и 2 балла соответственно.

Таблица 2. Оценка воздействия на окружающую среду, баллы
Table 2. Environmental impact assessment

Отношение к особо охраняемым природным территориям (ООПТ)	Деструкция растительности и мест обитания животных		
	Менее 10 % общей среды обитания одного вида диких животных или одного вида растений может быть разрушено	Более 10 % общей среды обитания одного вида диких животных или одного вида растений может быть разрушено	Один редкий вид диких животных или растений может погибнуть
Производство работ не скажется на ООПТ	5	3	2
Производство работ окажет значимое воздействие на ООПТ	3	2	1

Географические и климатологические критерии. Ожидаемыми последствиями возможного изменения климата может быть подъем уровня подземных вод и повышение уровня воды в реках, что может оказать существенное влияние на снижение глобальной безопасности АСММ. Уровень расположения выработок доступа на площадках относительно уровня воды составляет примерно 100 м для площадки П1 и около 70 м для площадки П2. С учетом этих особенностей площадкам присваивается следующее количество баллов: П1 – 4 балла, П2 – 3 балла.

Технико-экономические оценки потенциальных площадок. Капитальные затраты на строительство подземного комплекса в скальных и осадочных породах (по статье затрат – строительство) приведены в табл. 3.

Итоговая оценка площадок в баллах приведена в табл. 4. Наиболее предпочтительной признана площадка П1.

Выводы. Таким образом, площадка считается пригодной для размещения АСММ, если имеется возможность обеспечения безопасности населения и защиты окружающей среды на стадиях строительства и эксплуатации с учетом факторов природного и техногенного происхождения.

Таблица 3. Оценка капитальных затрат на строительство подземных комплексов

Table 3. Estimation of capital costs for the construction of underground complexes

Площадки	Характеристика критерия	Капитальные затраты, %	Баллы
Песчанка 1 (П1)	Строительство подземного комплекса в скальных и осадочных породах	100	5
Песчанка 2 (П2)	Строительство подземного комплекса в скальных породах	120	4

В северных условиях при выборе площадки значительную роль играют природные факторы, которые при эксплуатации атомной станции могут повлиять на безопасность прилегающих территорий. Влияние места размещения связано со многими характеристиками природной и техногенной среды: сейсмотектоническими, геофизическими, инженерно-геологическими, гидрологическими, экологическими, радиологическими, условиями землепользования и рядом других.

Таблица 4. Итоговая оценка площадок в баллах

Table 4. Sites final appraisal by points

Наименование показателя	Площадка		
	Песчанка 1	Песчанка 2	Вес, %
Перенос радионуклидов из АСММ	5	4	20
Сейсмичность в районе	5	5	15
Влияние геологических разломов	5	2	15
Влияние термокарстов	3	4	10
Деструкция растительности и районов обитания биологических видов	3	3	10
Потеря территорий или районов обитания биологических видов	3	2	10
Климатические изменения (повышение уровня воды в реках)	4	3	10
Капитальные затраты на строительство подземного комплекса	5	4	10
Количество баллов с учетом веса показателей	430	345	100

Выбор места размещения является многофакторной задачей, и окончательное заключение может быть сделано только после исследований всех характеристик участка и технико-экономической оценки строительства на основе ранжирования.

Работа выполнена в рамках темы 0226-2018-0008 государственного задания Горного института КНЦ РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Саркисов А. А. Новое направление развития – ядерная энергетика малой мощности // Атомная энергия. 2011. Т. 111. Вып. 5. С. 243–245.

2. Prashant Murty. State factors affecting the site selection of nuclear power plants. URL: <https://ru.scribd.com/doc/57356399/State-Factors-Affecting-the-Site-Selection-of-Nuclear-Power-Plants> (дата обращения 27. 03.2019).

3. State factors affecting the site selection of nuclear power plants. URL: <https://docslide.us/documents/state-factors-affecting-the-site-selection-of-nuclear-power-plants.html> (дата обращения 27. 03.2019).

4. Considerations in the selection of nuclear power plant candidate sites in Joh. URL: <https://translate.google.ru/?hl=ru&tab=TT#view=home&op=translate&sl=en&tl=ru&text=consideration> (дата обращения 28. 03.2019).

5. Мельников Н. Н., Гусак С. А., Амосов П. В., Наумов В. А., Наумов А. В., Орлов А. О., Климин С. Г., Смирнов Ю. Г. Исследования по обоснованию методологии создания подземных комплексов для размещения атомных станций малой мощности в условиях Арктики // Арктика: экология и экономика. 2018. № 3(31). С. 123–136.

6. Кузьмин Г. П. Подземные сооружения в криолитозоне. Новосибирск: Наука, 2002. 176 с.

7. Подземные объекты в горных выработках криолитозоны Якутии. Якутск: 2002. 27 с.

8. Шувалов Ю. В., Галкин А. Ф. Теория и практика оптимального управления тепловым режимом подземных сооружений криолитозоны // ГИАБ. 2010. № 8. С. 365–370.

9. Галкин А. Ф. Повышение устойчивости горных выработок в криолитозоне // Записки горного института. 2014. Т. 207. С. 99–102.

10. Авдонин В. В., Бойцов В. Е., Григорьев В. М., Семинский Ж. В., Солодов Н. А., Старостин В. И. Месторождения металлических полезных ископаемых. М.: Академический проект-Трикта, 2005. 720 с.

11. Мигачев И. Ф., Гирфанов М. М., Шишаков В. Б. Медно-порфировое месторождение Песчанка // Руды и металлы. 1995. № 3. С. 48–58.

12. Огородников А. А. Состояние и развитие минерально-сырьевой базы Чукотского автономного округа // Глобус. Геология и бизнес. 2012. № 3(22). С. 14–18.

Поступила в редакцию 25 июля 2019 года

Сведения об авторах:

Смирнов Юрий Геннадьевич – научный сотрудник Горного института КНЦ РАН.
E-mail: smirnov@goi.kolasc.net.ru

Орлов Александр Орестович – научный сотрудник Горного института КНЦ РАН.
E-mail: aleor@goi.kolasc.net.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2020-1-5-13

Selecting a site for the nuclear power plant underground installation during new fields development

Iurii G. Smirnov¹, Aleksandr O. Orlov¹

¹ Mining Institute, Kola Science Centre RAS, Apatity, Russia.

Abstract

Introduction. The construction of underground installations in permafrost is aimed at ensuring the integrated safety of power facilities, small nuclear power plants (SNPP). In these conditions, location choice is a crucial stage in SNPP design and construction. As a rule, construction sites are situated at remote and little developed territories. Construction in permafrost is characterized by adverse climatic conditions and frozen soil, which lead to construction cost indicators growth.

Research aim is to carry out comparative evaluation of two sites available for the facilities arrangement at the Peschanka copper porphyry deposit by ranking SNPP location sites.

Methodology. Natural and climatic conditions play a significant role in siting and are capable of affecting the safety of both the nuclear facility and surrounding territories during a nuclear power plant operation. The choice of the station location is associated with a number of natural and man-made environmental characteristics.

Results. The determining factor in the use of the energy sources under consideration is the need to bring them closer to the main energy consumers, especially in remote and hard-to-reach areas without developed infrastructure. As part of SNPP creation concept, there is an increasing significance of research concerning the siting of underground radiation-hazardous facilities. The methodical approach to selecting sites for underground installations in permafrost includes their ranking.

Summary. While ranking the sites according to natural and socio-economic criteria, the most acceptable sites for SNPPs are identified. The results of research on the choice of particular sites during the construction of a mining and processing complex at Peschanka deposit have made it possible to make a conclusion on the site's suitability for underground installation adit location.

Key words: small nuclear power plant; underground installation; hard rock mass; permafrost; site selection; ranking; Peschanka deposit; technical and economic indicators.

Acknowledgements. Research has been carried out under the government contract of the Mining Institute KSC RAS, theme no. 0226-2018-0008.

REFERENCES

1. Sarkisov A. A. New directions of development – small power capacity nuclear energy. *Atomnaya energiya = Atomic Energy*. 2011; 1111 (5): 243–245. (In Russ.)
2. Prashant Murty. *State factors affecting the site selection of nuclear power plants*. Available from: <https://ru.scribd.com/doc/57356399/State-Factors-Affecting-the-Site-Selection-of-Nuclear-Power-Plants> [Accessed 27 March 2019].
3. *State factors affecting the site selection of nuclear power plants*. Available from: <https://docslide.us/documents/state-factors-affecting-the-site-selection-of-nuclear-power-plants.html> [Accessed 27 March 2019].
4. Considerations in the selection of nuclear power plant candidate sites in Joh. Available from: <https://translate.google.ru/?hl=ru&tab=TT#view=home&op=translate&sl=en&tl=ru&text=consideration> [Accessed 27 March 2019].
5. Melnikov N. N., Gusak S. A., Amosov P. V., Naumov V. A., Naumov A. V., Orlov A. O., Klimin S. G., Smirnov Iu. G. Verification studies on a methodology for constructing underground complexes to dispose small nuclear power plants in the Arctic conditions. *Arktika: ekologiya i ekonomika = Arctic: Ecology and Economy*. 2018; 3(31): 123–136. (In Russ.)
6. Kuzmin G. P. *Underground facilities in permafrost zone*. Novosibirsk: Nauka Publishing; 2002. (In Russ.)
7. *Underground facilities in the mines of Yakutia permafrost zones*. Yakutsk: 2002. (In Russ.)
8. Shuvalov Iu. V., Galkin A. F. Theory and practice of optimum thermal control of underground structures in permafrost. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2010; 8: 365–370. (In Russ.)
9. Galkin A. F. Improving the stability of mine workings in the permafrost zone. *Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute*. 2014; 207: 99–102. (In Russ.)
10. Avdonin V. V., Boitsov V. E., Grigoriev V. M., Seminskii Zh. V., Solodov N. A., Starostin V. I. *Metallic mineral deposits*. Moscow: Akademicheskii proekt-Triksta Publishing; 2005. (In Russ.)
11. Migachev I. F., Girfanov M. M., Shishakov V. B. Peschanka copper porphyry deposit. *Rudy i metally = Ores and Metals*. 1995; 3: 48–58. (In Russ.)
12. Ogorodnikov A. A. The state and development of the mineral resource base of Chukotka Autonomous Region. *Globus. Geologiya i biznes = Globus. Geology and Business*. 2012; 3 (22): 14–18. (In Russ.)

Received 25 July 2019

Information about authors:

Iurii G. Smirnov – researcher, Mining Institute KSC RAS. E-mail: smirnov@goi.kolasc.net.ru
Aleksandr O. Orlov – researcher, Mining Institute KSC RAS. E-mail: aleor@goi.kolasc.net.ru

Для цитирования: Смирнов Ю. Г., Орлов А. О. Выбор площадки для подземного комплекса атомной станции при освоении новых месторождений // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 1. С. 5–13. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-1-5-13

For citation: Smirnov Iu. G., Orlov A. O. Selecting a site for the nuclear power plant underground installation during new fields development. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 1: 5–13 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2020-1-5-13