



УДК 520.131

М. В. Дробиз**ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА СЕЙСМООПАСНОСТИ
СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНОГО ХРАНИЛИЩА ГАЗА**

Обосновывается выбор методики оценки геоэкологического риска сейсмоопасности для Калининградского подземного хранилища газа (КПХГ) на этапе строительства. С использованием модернизированной матрицы Леопольда получены полуколичественные показатели геоэкологического риска сейсмоопасности для исследованного объекта. Оценка риска надежно обеспечена технологическими решениями при проектировании.

65

This article justifies the methodology for assessing the geoecological seismic risk associated with the construction of the Kaliningrad Underground Gas Storage (KUGS). A modified Leopold matrix helped obtain semi-quantitative seismic safety estimate for the object under consideration. The risk assessment is taken into account when developing technological solutions at the design stage.

Ключевые слова: геоэкологический риск, сейсмическая опасность, подземное хранилище газа.

Key words: geoecological risk assessment, seismic hazard, underground gas storage.

Введение

Сейсмические события на территории Калининградской области известны с XIV в. [4; 6]. Землетрясение в виде семи сейсмических толчков здесь произошло 21 сентября 2004 г. Самые мощные толчки были отмечены в 14:05, 16:32 и 16:36 местного времени и имели магнитуды 4.1, 4.9 и 3.0 соответственно [1]. Землетрясение отнесено к событиям умеренной силы с интенсивностью 6.0–6.5 по шкале EMS-98 и проявилось в ощутимых повреждениях в Калининграде, Светлогорске и ряде других населенных пунктов [7]. Это землетрясение является самым мощным за инструментальный период наблюдений.

С 2004 г. территория Калининградской области переведена в разряд регионов с умеренной сейсмичностью. По данным Общего сейсмического районирования, уточненным в 2008 г., область определена к пятибалльной зоне [4], что внесло существенный вклад в показатели сейсmobезопасности области и, как следствие, привело к необходимости учитывать геоэкологические риски, касающиеся сейсмичности.

Геоэкологические риски особенно связаны с ответственными производствами и возможным влиянием на них опасных природно-антропогенных явлений. В регионах с высоким уровнем урбанизации помимо тектонических событий с низкими значениями магнитуд велик вклад воздействий техногенной природы. Поэтому столь важен учет



влияния постоянных антропогенных вибраций на ответственные сооружения, оцениваемый местными сейсмическими сетями.

За последние 20 лет темпы строительства в Калининградской области существенно ускорились. Строятся новые автомагистрали, крупнейшие энергетические объекты и др. К особо ответственным промышленным объектам относятся [3]: нефтяная платформа на шельфовом месторождении Кравцовское (Д-6); Балтийская атомная электростанция; Калининградское подземное хранилище газа (КПХГ). Кроме того, к объектам с высоким уровнем ответственности принадлежит и запланированный к чемпионату мира 2018 г. футбольный стадион в Калининграде, строительство которого на острове Октябрьский начнется в 2014–2015 гг. в сложнейших инженерно-геологических условиях [8]. Состояние всех этих капитальных объектов во многом зависит от динамики современных тектонических движений, событий сейсмической природы, которые могут привести к разнообразным геологическим последствиям.

Калининградское ПХГ расположено вблизи поселка Романово Зеленоградского района в 20 км от областного центра. Хранилище предназначено для обеспечения надежного газоснабжения области и создания необходимых запасов газа для покрытия суточной и сезонной неравномерности потребления, а также в целях резервирования газа на случай наступления холодных зим или аварий. Строительство объекта начато в 2001 г. Для ввода в эксплуатацию всех запроектированных мощностей понадобится еще не менее десяти лет. Предусмотрено создание 14 подземных емкостей (1Т – 14Т) на глубине от 800 до 1000 м проектным объемом до 400 тыс. м³ каждая. Проектной документацией утвержден активный объем хранилища 800 млн м³ и мощности для постоянного хранения природного газа.

В связи с сейсмоопасностью региона оценка риска для данного объекта весьма актуальна.

Методика исследования

В данной работе понятие *геоэкологический риск* определено как вероятность неблагоприятного, техногенного и иного воздействия на промышленный объект и последующего влияния на компоненты природно-территориального комплекса.

Современные методы оценки геоэкологических подразделяют на количественные, качественные и полуколичественные. В зависимости от объекта и направления исследований выбираются разного рода приемы из математической статистики, экономической теории, логики и высшей математики, практической социологии, картографии и др. Вместе с тем доля известных по литературным источникам [5; 9] оценок геоэкологических рисков весьма невысока. Для оценки техногенных рисков, преимущественно связанных с влиянием конкретных производств на окружающую среду, в основном применяют качественные методы [9], детерминированно определяющие степень опасности источника риска (метод системного анализа риска, «индексов опасности»,



вероятностный, феноменологический методы и др.). Для оценки экологических рисков, касающихся влияния на экосистему или отдельные компоненты биоты негативных природных и иных процессов и явлений, чаще используют количественные методы (оценка через введение нормативов ПДК, ПДВ, модели влияния загрязняющих веществ и ряд других [5]).

При оценке геоэкологического риска с учетом и техногенных, и природных факторов опасности будут уместны полуколичественные методы. Среди них наиболее распространены следующие: уменьшающихся рисков, логического анализа (метод событий и метод ошибок), экспертных оценок, статистический, Делфи, Монте-Карло, «снятия» неопределенностей, использования аналогов и др. [5]. Для объектов исследования, расположенных в регионах с подтвержденной сейсмичностью, востребованы методики, разработанные для редких событий. Однако при более подробном анализе выяснилось, что применение балльных шкал не позволяет достоверно оценивать реальные риски.

Для оценки геоэкологических рисков Калининградской области как региона с подтвержденной сейсмичностью были выбраны два основных метода — матриц риска и карт риска. При оценке геоэкологических рисков для объектов с предварительным исследованием характеристик сейсмостойкости [2] использовалась матрица риска, утвержденная в государственном стандарте «Менеджмент риска. Руководство по применению при проектировании» ГОСТ Р 51901.4—2005. Применение матрицы к объектам исследования основано на учете как вероятности негативного события, так и магнитуды его последствий. В определение значений для шкал матрицы вкладывается вся полнота полученной информации об объекте и степени негативного влияния процессов с учетом максимальных для всего рода изучаемого объекта. Разделение на условные категории, согласно пояснительной записке в госстандарте, дает конкретные рекомендации к дальнейшим действиям. Величина риска, приведенная к процентным значениям, при достоверности использованных материалов и учете возможных данных представляет собой способный к относительным сравнениям результат.

Другой тип матрицы риска, задействованный в исследовании, — матрица Леопольда. С помощью разработанного Л. Леопольдом (Национальная геологическая служба США) в 1971 г. метода в мировой практике проводят экологический аудит, процедуры ОВОС и т.п. [5]. В общем виде матрица Леопольда предусматривает учет 88 видов воздействия (столбцов) и 100 характеристик среды обитания (строк матрицы). Таким образом, в матрице 8800 ячеек причем в классическом виде в каждой ячейке по две оценки — магнитуда и значимость.

Автор практикует менее распространенный подход по приданию только одной характеристики в ячейку матрицы, учитывая, что вероятность события устанавливается однократно при изучении влияния факторов сейсмической природы для территории Калининградской области. Кроме того, для рассмотренного примера оценки рисков подземного хранилища газа в матрице представлены только существенные



единицы – 7 видов объектов, которые в случае проявления событий сейсмической природы могут оказать негативное влияние на окружающую среду, и 21 характеристика среды обитания, которые подвергнутся воздействию при описанных обстоятельствах (всего 147 ячеек). Воздействие на компоненты природной среды ω оценивается в таблице по шкале от 0 до 3 баллов (0 – нет воздействия, 3 – сильное воздействие). При работе с таблицей необходимо оценивать именно прямое воздействие, так как учет вторичных взаимосвязей не позволит дифференцировать результаты по факторам. После заполнения таблиц рассчитывается значимость γ всех воздействий по формуле $\gamma = n/S$, где n – количество значимых ячеек в матрице (в которых $\omega \neq 0$), S – общее количество ячеек (здесь – 147). Общая сила воздействия I находится по формуле $I = \frac{\sum_{i=1}^n \omega \times \gamma}{S}$, а отношение полученного значения к

максимальному воздействию I_{max} , (выраженное в процентах), позволит определить величину геоэкологического риска сейсмического события и его последствий.

В соответствии с практикой регистрации природных колебаний сейсмической станцией KLNР (международный код станции Калининград в сети Геофизической службы РАН) и в рамках проведенной работы факторы сейсмической природы были разделены на воздействия местного землетрясения, микросейсмического фона и удаленного землетрясения. Все указанные явления постоянно фиксируются на территории Калининградской области [3].

Метод картирования риска с целью его управления особенно широко развит в Нидерландах, где карты риска, введенные действующим законодательством, имеют статус нормативных документов [5]. Карта риска, в центре которой расположен исследуемый объект, указывает на области, подверженные наибольшим угрозам и разрушениям в случае взрыва или пожара (области высоких рисков). На ней нанесены основные объекты инфраструктуры, которые обладают максимальными значениями риска в случае возникновения чрезвычайных ситуаций. Такие карты риска имеются у руководства объекта и являются документом, по которому необходимо действовать в случае возникновения неблагоприятного события. Кроме того, существует еще ряд различных технологических решений для построения карт риска, например, использование сетки, «модулей» с нанесением значений рисков или использование изолиний. В каждом из случаев карта риска применяется для отображения пространственного распределения либо единиц риска, либо подверженных конкретным рискам объектов.

Результаты и их обсуждение

Оценка каждого из трех факторов сейсмической природы проведена при помощи модифицированной под данное исследование матрицы Леопольда. Матрица риска для случая возможного местного землетрясения дана в таблице, для которой значимость всех воздействий $\gamma = 0,65$, общая сила воздействия $I = 0,57$ (безразмерные величины).

Оценка рисков строительства и эксплуатации Калининградского ЦХГ под влиянием возможного местного землетрясения

Фактор	Объекты								Строительная техника
	Резервуар хранения	Здания и строения в промышленной зоне	Дороги	Газопроводы	Прочие коммуникации	Эксплуатируемые скважины			
Минеральные ресурсы	1	0	0	1	2	3	1		1
Почвы	3	1	1	2	1	1			2
Строительные материалы	2	0	0	0	1	1			2
Ландшафт	3	2	1	2	1	1			2
Поверхностные воды	3	1	0	2	2	1			1
Морские воды	1	0	0	1	1	1			1
Подземные воды	3	1	1	0	3	2			2
Качество воды	2	0	1	1	2	1			1
Температура	1	0	0	1	2	1			1
Снег, лед	1	0	0	0	1	0			0
Качество воздуха	2	0	1	2	1	0			1
Температура	1	0	0	1	0	0			1
Влажность	1	0	0	1	0	0			0
Засоление водных ресурсов	2	0	1	0	1	0			1
Склоновые процессы (оползни, сели)	1	1	1	1	1	0			1
Наводнения	0	0	0	0	1	0			0
Эрозия	0	1	1	0	1	0			2
Седиментация	0	0	0	0	1	1			1
Растворение	1	0	0	0	1	1			1
Уплотнение	1	1	1	0	0	0			2
Процессы в атмосфере	2	1	1	1	1	0			2



В целом для случая строительства и эксплуатации КПХГ геоэкологические риски при воздействии возможного местного землетрясения определены в 18 %, микросейсмического фона — 3 %, удаленного землетрясения — 0,06 %. Ценность полученного результата в том, что итоговое значение учитывает не только вероятность события, но и магнитуду последствий, представляя комплексное обоснование рисков, а также возможность сравнения с результатами оценок геоэкологических рисков, рассчитанных другими способами, приведенными к процентным значениям.

Если рассматривать геоэкологические риски строительства и эксплуатации КПХГ в географическом аспекте, то уместно воспользоваться методом карт риска. На рис. приведена карта оценок геоэкологического риска КПХГ, созданная по традиции голландских моделей карт риска. На территории радиусом 5 км вокруг хранилища проживает около 1,5 тыс. человек, в 8-километровой зоне — около 3 тыс. жителей. КПХГ расположено на расстоянии всего 6 км от берега открытой части Балтийского моря и на удалении 10–13 км от курортов федерального значения Зеленоградск и Светлогорск — Отрадное. В 5 км зоне также находятся объект ПВО Министерства обороны РФ и нефтесборный пункт ООО «Лукойл-КМН», куда добываемая с платформы «Д6» нефть попадает для приведения к товарному виду и последующей транспортировки в нефтетерминал Ижевское.

Место размещения хранилища газа находится в центральной части Самбийского п-ова, в русле р. Алейки, у истока, а на удалении 1 км расположен исток р. Нельмы, самой длинной на полуострове. Реки впадают в Балтийское море (р. Алейка) и Вислинский залив в районе Приморской бухты (р. Нельма). В случае просачивания вредных веществ из резервуара в верхние горизонты велик риск изменения химического состава речных вод, что в итоге может повлиять на экологическое состояние моря и заливов.

В случае утечек или аварии в газохранилище относительно безопасным для местных жителей будет перемещение газовых соединений в юго-восточный квадрант (рис.). Как известно, приземная концентрация природного газа в 15 % является взрывоопасной, но при перемещении воздушной массы на удалении как минимум 5 км от хранилища газ в воздухе рассеется. При среднегодовой скорости ветра 5 м/с преимущественно западного направления зимой и южного направления летом (гидрометеостанция в Светлогорске) вероятность развития ситуации по «безопасному» варианту не превышает 10–12 %. По этой причине территория пос. Романово, расположенного у самого хранилища и занимающая практически 90° сектор влияния поражающего фактора, характеризуется наибольшими показателями риска при аварийных ситуациях в КПХГ, в том числе вызванных явлениями сейсмической природы.

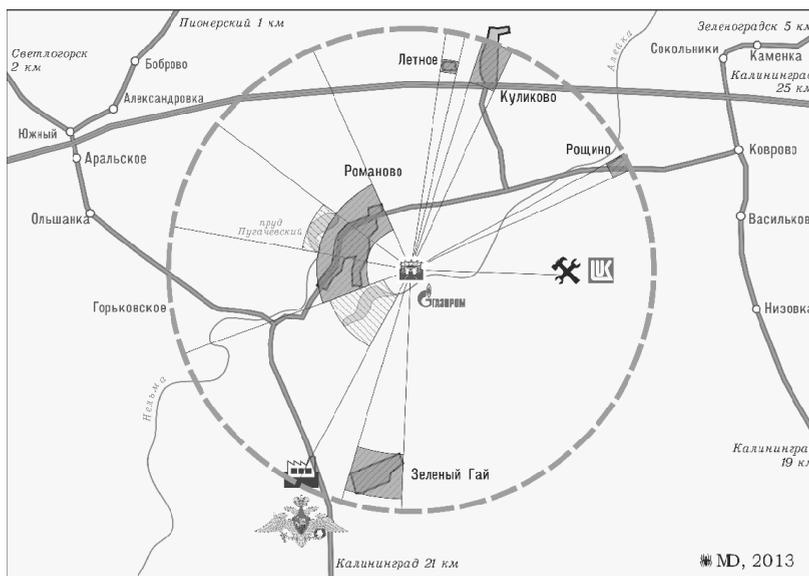


Рис. Оценка геоэкологического риска строительства и эксплуатации Калининградского ПХГ

По результатам инструментальных измерений на аналогичных участках выявлено, что воздействие удаленного землетрясения или микросейсмического фона в условиях северной части Самбийского п-ова не создает для Калининградского подземного хранилища газа критической нагрузки. На конструктивную целостность КПХГ из факторов сейсмической природы в тектонически активном регионе может повлиять только местное землетрясение, эпицентр которого будет находиться вблизи или под хранилищем. В этом случае резервуар, расположенный на глубине около 1 км, испытает неравномерные горизонтальные и вертикальные движения, что приведет к возможным нарушениям в стенках хранилища или в скважинах и трубопроводах. При утечке 0,02% объема хранилища и более (100 тыс. м³ за вычетом потерь на распыление, химические реакции в грунтах и т.д.) приземная концентрация природного газа становится взрывоопасной, и ситуация, развивающаяся по такому сценарию, объявляется чрезвычайной. В настоящее время на этапе строительства при отсутствии рабочего объема природного газа в резервуаре негативные экологические последствия факторами сейсмической природы не могут быть вызваны.

Выводы

Применение оценочных матриц и карт позволило получить количественные характеристики геоэкологического риска строительства КПХГ в условиях сейсмоактивного региона.



Значения риска, учитывающее вероятность и магнитуду события, не превышающее 20 % для случая местного землетрясения, надежно обеспечены технологическими решениями на этапе проектирования.

Пространственное распределение значения риска характеризует местоположение конкретных объектов относительно ПХГ, которые в случае сейсмических событий будут подвержены определенному риску. Ввиду близости размещения к поселку Романово территория этого населенного пункта находится в зоне максимального значения геологического риска. Однако на этапе строительства ПХГ негативные последствия сейсмической природы исключаются.

Список литературы

1. Айзберг Р.Е., Аронов А.Г., Аронова Т.Н. и др. Сейсмоструктура плит древних платформ в области четвертичного оледенения. М., 2009.
2. Аносов Г.И., Дробиз М.В., Коновалова О.А. и др. Оценка сейсмической устойчивости учебного корпуса №3 Российского государственного университета им. И. Канта с применением методики Накамура // Вестник КРАУНЦ. 2010. №1. С. 223–231.
3. Дробиз М.В. Современное состояние и перспективы сейсмологических исследований для оценки геологических рисков в Калининградской области // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных : матер. седьмой междунар. сейсмологической школы. Обнинск, 2012. С. 118–121.
4. Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 года. СПб., 2009.
5. Музалевский А.А., Карлин Л.Н. Экологические риски: теория и практика. СПб., 2011.
6. Никонов А.А. Поверхностные нарушения при Калининградском землетрясении 21.09.2004 г. и их соотношение с градациями макросейсмических шкал // Вопросы инженерной сейсмологии. 2010. Т. 37, №1. С. 56–67.
7. Никонов А.А. Развитие сейсмического процесса в Юго-Восточной Балтике в период подготовки и реализации калининградских землетрясений 2004 г. // Доклады Академии наук. 2008. Т. 421, №4. С. 537–541.
8. Шевня М.С., Дробиз М.В., Коффа Г.Л. Геодезические наблюдения за осадками зданий на острове Октябрьский в Калининграде // Инженерные изыскания. 2012. №12. С. 62–72.
9. Чура Н.Н. Техногенный риск : учеб. пособие / под ред. В.А. Девисилова. М., 2011.
10. Экологическая экспертиза и оценка воздействия на окружающую среду планируемой деятельности : метод. указания к практическим работам / сост. М.В. Бузаева, В.В. Савиных, О.В. Чемаева. Ульяновск, 2005. Ч. 1.

Об авторе

Михаил Валерьевич Дробиз – начальник отдела, ОАО «Балтийское аэрогеодезическое предприятие».

E-mail: mikhail.drobiz@gmail.com

About the author

Mikhail Drobiz, Head of Department, JSC Baltic Aerogeodetic Company.

E-mail: mikhail.drobiz@gmail.com