

Опыт сейсмического микрорайонирования (СМР) участков строительства морских нефтегазовых сооружений на Западно-Арктическом шельфе



Автор статьи подробно рассказывает об опыте сейсмического микрорайонирования (СМР), выполнявшегося для участков строительства морских нефтегазовых сооружений на Западно-Арктическом шельфе (Баренцево, Печорское и Карское моря). Эти территории в настоящее время рассматриваются крупными нефтяными и газовыми компаниями как перспективный регион для поиска новых и освоения ранее открытых месторождений углеводородов. Вместе с тем, природные и техногенные землетрясения, а также вторичные сейсмические опасности, такие как разжижение и оползание грунтов, подвижки по разломам, косейсмические опускания и поднятия побережий, флюидопроявления и цунами представляют серьезный риск для этих работ. Некоторые из них изучены еще недостаточно, что препятствует формированию требований по их учету при проектировании морских объектов. Именно этому посвящена настоящая статья.

Миронюк Сергей Григорьевич

Старший научный сотрудник Центра анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова

mironyuksg@gmail.com

Западно-Арктический шельф РФ (Баренцево, Печорское и Карское моря) в настоящее время рассматривается крупными нефтяными и газовыми компаниями как перспективный регион для поиска новых и освоения ранее открытых месторождений углеводородов. Вместе с тем осознается, что суровость арктического климата, сложные инженерно-геологические и гидрометеорологические условия (наличие мерзлых пород, газонасыщенность осадков и места разгрузки флюидов, экзарация, айсберговая угроза и т.д.) обуславливают значительные риски аварий морских сооружений.

К числу опасных для морских нефтегазовых сооружений (МНГС) следует отнести также группу геодинамических процессов – природные и техногенные землетрясения [23], а также вторичные сейсмические опасности – разжижение [21] и оползание грунтов [12], подвижки по разломам [22], косейсмические опускания и поднятия побережий, флюидопроявления [19], цунами [15] и др. Некоторые из них изучены еще недостаточно, что препятствует формированию требований по их учету при проектировании морских объектов.

Изучение землетрясений в нефтегазоносных регионах важно не только с точки зрения оценки природной сейсмической опасности на площадях обустройства месторождений, но и с целью прогноза техногенной и наведенной сейсмичности при эксплуатации залежей [10]. Для Баренцево-Карского шельфа актуальна также задача изучения сейсмической активности мест размещения отработанного ядерного топлива и твердых радиоактивных отходов [3].

Невзирая на то, что большая часть шельфа Баренцева, Печорского и Карского морей относится к районам с низкой степенью сейсмической опасности (приморская суша указанных морей расположена в пределах зоны с ожидаемой интенсивностью землетрясений по картам ОСР-2016 А, В и С – 5 баллов по шкале MSK-64) (рис. 1, 2), в пределах окраинных частей Баренцева и Карского морей имели место землетрясения с магнитудами (М) менее 4,9, 5,0–5,9, а в наиболее сейсмически активном желобе (грабене) Франц-Виктория даже больше 6,0 (рис.3). В этой связи актуальным является выполнение на шельфе рассматриваемых морей общего сейсмического районирования (ОСР) и детального сейсмического районирования (ДСР), которые до настоящего времени не проводились.

Отмечается также, что в силу специфических грунтовых условий (наличие илов) и рельефа, в северной части Баренцева моря могут иметь место сейсмически опасные участки [1,18].

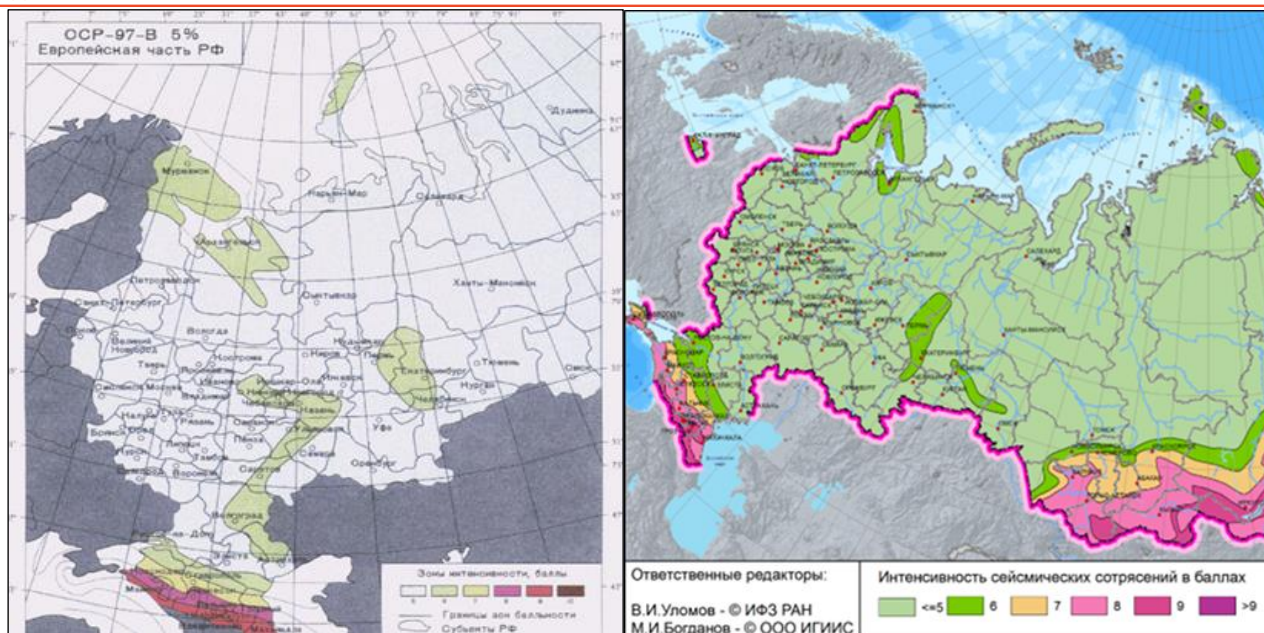


Рис. 1. Нормативные карты общего сейсмического районирования территории РФ: ОСР-97-В (ОИФЗ РАН,1996) [37] (слева); ОСР-2016-В (фрагмент)(справа) [13].

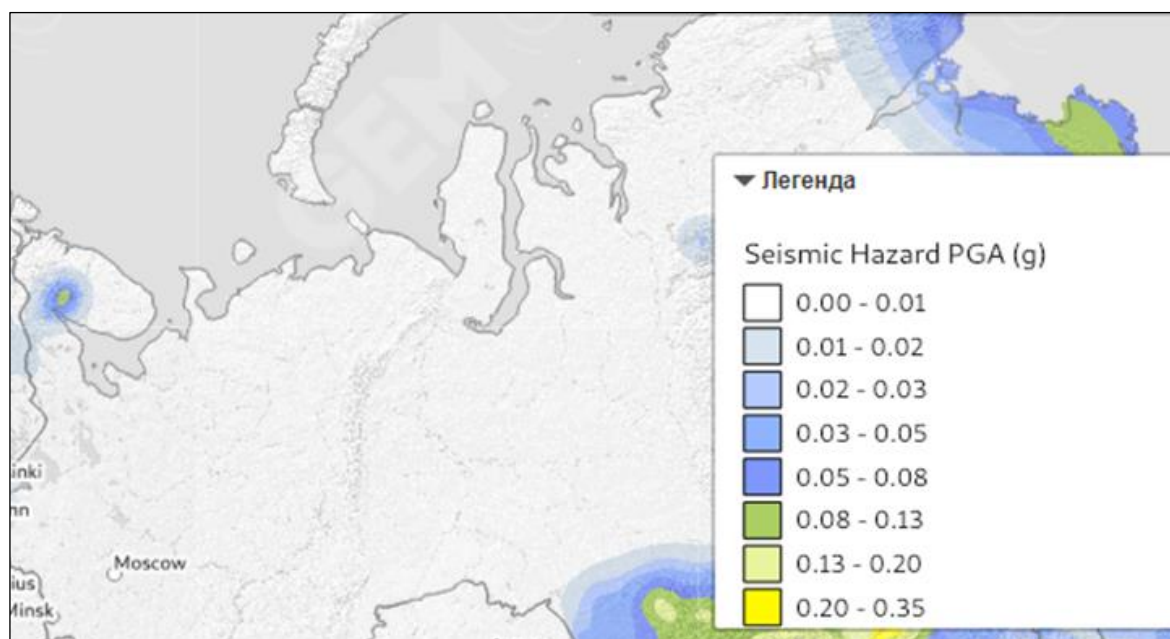


Рис. 2. Карта сейсмической опасности (фрагмент) [29].

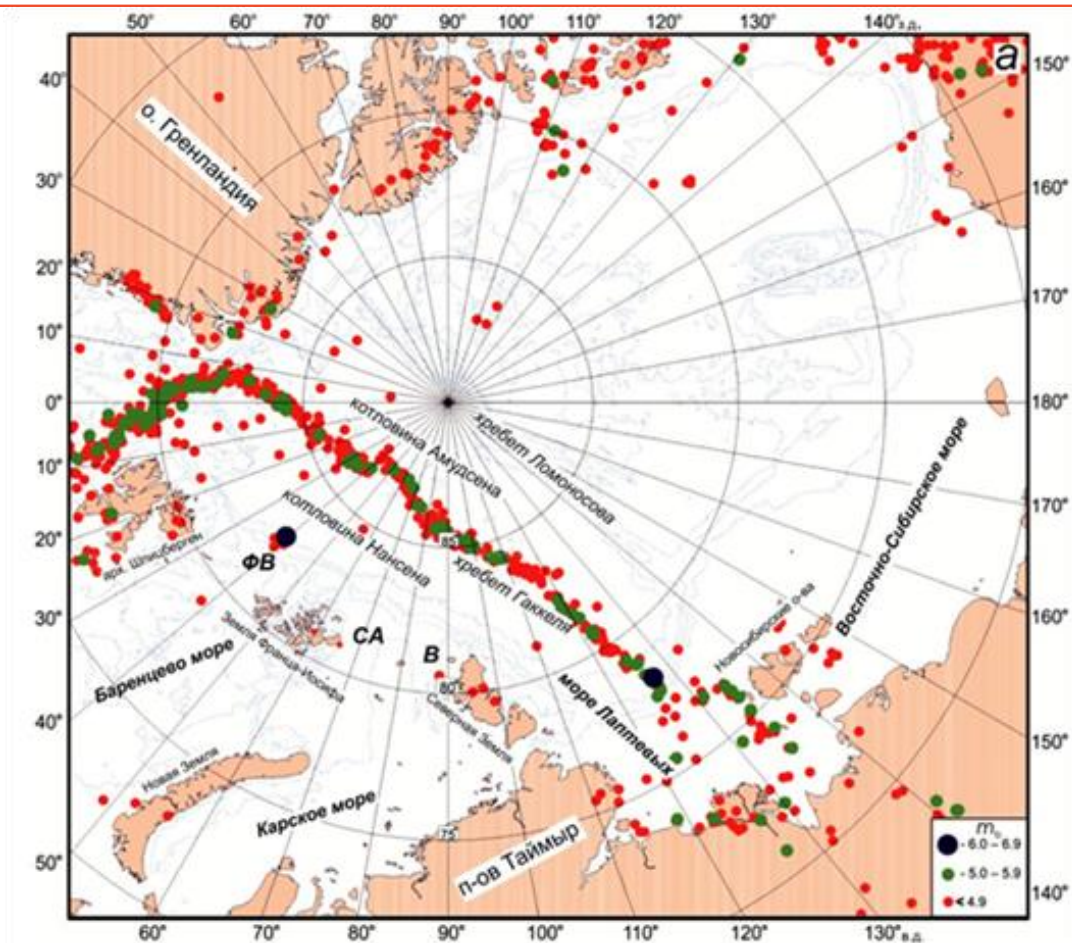


Рис. 3. Эпицентры землетрясений Центрально-Арктического бассейна Северного Ледовитого океана и его обрамления [30]

Важно отметить, что землетрясения в Западно-Арктическом регионе в районе желобов Франц-Виктория (ФВ), Святой Анны (СА) и Воронина (В), а также в проливах Северной Земли не приурочены к границам плит, а являются внутриплитными событиями (рис. 3) [9, 24].

Акватория Баренцева моря, как известно, рассматривается как перспективный бассейн углеводородного сырья начиная с середины 70-х годов XX в. Подготовка к обустройству шельфовых месторождений потребовала углубленного изучения инженерно-геологических условий месторождений и количественной оценки сейсмической опасности площадок размещения морских сооружений. В частности, практически сразу же после открытия крупнейшего в мире газоконденсатного месторождения в Баренцевом море (1988 г.) здесь были выполнены инженерно-геологические изыскания для различных стадий проектирования (АМИГЭ НПО «Союзморинжгеология»; ГП «АМИГЭ», 1988-1994).

В ходе проектно-изыскательских работ по обустройству месторождений в Баренцевом море выявилась недостаточность разработанных в 80-е годы нормативно-методических документов для выполнения сейсмического микрорайонирования (СМР) на шельфе [31-33], устанавливающих требования к составу и объему работ по СМР сухопутных территорий. Между тем, оценка сейсмической опасности шельфа представляет значительно более сложную задачу по сравнению с аналогичными исследованиями на суше, прежде всего, ввиду технической трудностей создания на морском дне локальной сети постоянно действующих сейсмических станций. Также на шельфе существенно ограничены

возможности картирования тектонических разрывных нарушений и оценка их активности [22].

Ситуация с оценкой сейсмической опасности шельфа усугублялась отсутствием утвержденных нормативных карт сейсмического районирования акваторий (проблема не решена до сих пор), слабой оснащенностью организаций приборами и оборудованием для выполнения морских изысканий для целей СМР (ДСР), недостаточной изученностью вторичных сейсмических эффектов и, прежде всего, сейсмического разжижения грунтов. В этой связи Инженерно-методическим центром по инженерным изысканиям в строительстве (ИМЦстройизыскания) созданным в 1991 г. была разработана «Методика оценки сейсмических условий шельфовых зон для сейсмического микрорайонирования площадок инженерных сооружений, 1991» (авторы: Баулин Ю.И., Заботкина Л.В.) [17], а в ПНИИИС Госстроя СССР были проведены исследования по прогнозированию остаточных деформаций в песчаных грунтах (отв. исполнитель Севостьянов В.В., 1991 г.). Здесь уместно напомнить, что Лаборатория по сейсмическому микрорайонированию и инженерно-геологической съемке в составе ПНИИИС Госстроя СССР (ее возглавил д.г.-м.н. Кригер Н.И.) была создана в 1972 г.

С учетом выполненных АМИГЭ инженерных изысканий, исследований Б.А. Ассиновской сейсмичности и тектоники Арктического региона [4-6], «Методики оценки сейсмических условий шельфовых зон..., 1991» [17] в 1994 г. ИМЦстройизыскания было выполнено предварительное СМР на участках обустройства месторождений углеводородов в Баренцевом и Печорском морях (авторы: Ассиновская Б.А., Баулин Ю.И., Миндель И.Г.).

Баренцево море. В результате выполненных работ первого этапа (уточнение исходной сейсмичности) (УИС) с применением методики геологических аналогий и экспертных оценок были получены новые материалы, позволившие уточнить существующую схему зон возможных очагов землетрясений (ВОЗ) (рис. 4) и получить прогнозную оценку сейсмотектонического потенциала района исследований (юго-восточный склон Центрально-Баренцевоморского поднятия). На втором этапе исследований (собственно СМР) выполнены теоретические расчеты параметров ожидаемых сейсмических воздействий и проведена оценка приращения сейсмической балльности методом инженерно-геологических аналогий и расчетным (основной). Кроме того, были рассмотрены вопросы динамической устойчивости донных отложений.

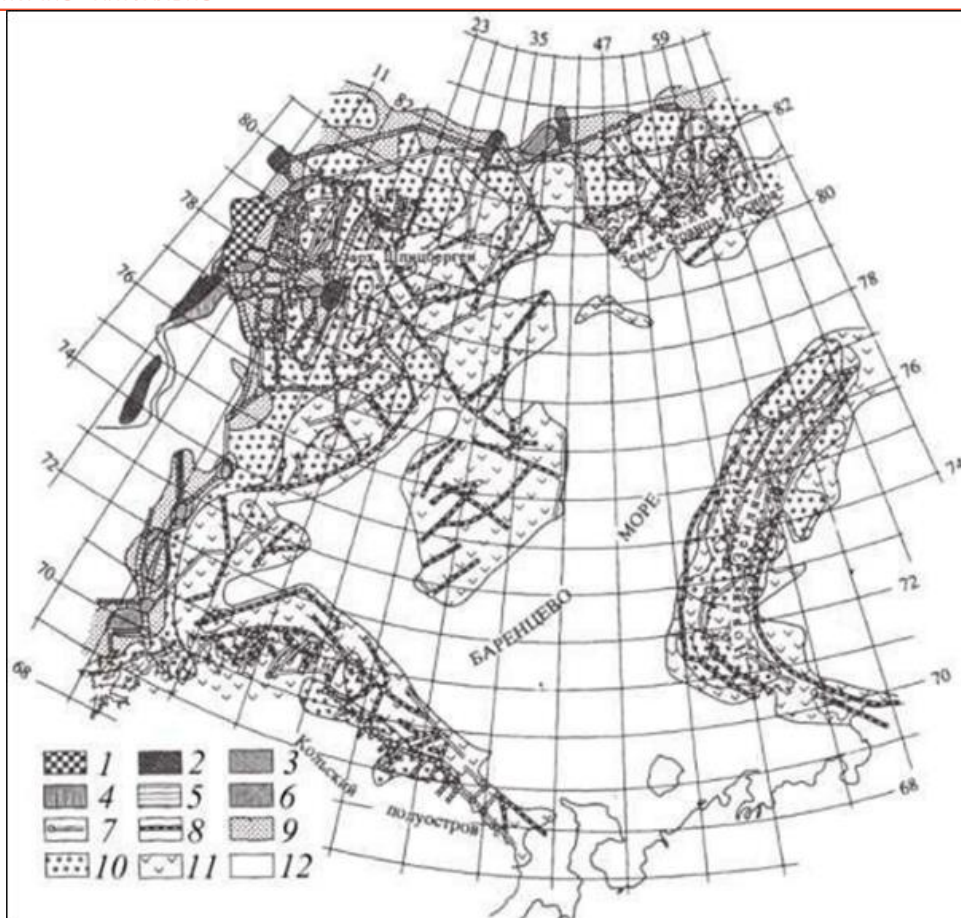


Рис. 4. Схема сейсмоактивных зон (зон ВОЗ) Баренцевоморского региона, м-б 1:2500000 [7]. Зоны, охватывающие узлы и линеаменты с различными значениями m_{bmax} : 1 – 6.0-6.2; 2 – 5.7-5.9; 3 – 5.4-5.6; 4 – 5.1-5.3; 5 – 4.8-5.0; 6 – 4.5-4.7. Линеаменты: 7 – уверенные с $m_{bmax}=4.0-4.4$; 8 – то же, неуверенные. Поля вне узлов и линеаментов с оценками m_{bmax} : 9 – 4.3-4.4; 10 – 3.9-4.2, уверенно; 11 – то же, неуверенно; 12 – $m_{bmax}<3.9$

Итогом УИС явились выводы о том, что в Баренцево-Карском регионе сформировались четыре наиболее активные сейсмогенерирующие зоны, относительно близко расположенные к участку исследований: уступ Брусилова на севере, Свальбардская плита на северо-западе, Мурман-Финмаркенская на юге, простирающаяся вдоль Кольского прогиба, и Новоземельская (возрождающийся ороген) на востоке (рис.3). Наиболее сильные землетрясения с $M=6,60-6,75$ произошли в удаленных Свальбардской и Брусиловской зонах. Экспертные оценки максимальной магнитуды (M_{max}) и расчеты по уравнению макросейсмического поля показали, что интенсивность большинства сейсмических сотрясений, вызываемых землетрясениями от наиболее активных внешних сейсмогенных зон (Брусиловской, Свальбардской, Мурман-Финмаркенской и Новоземельской) в пределах участка исследований не превышает 4–5 баллов по шкале MSK-64. Средняя повторяемость таких событий 1 раз в 100 лет.

Для наиболее опасного дизъюнктивного узла, расположенного на расстоянии около 20 км от площадки изысканий, приняты следующие исходные параметры ожидаемых сейсмических воздействий: $M=4,5$; $T=100$ лет; $M_{max}=5,2$; $T=1000$ лет (табл. 1); Максимальное горизонтальное ускорение (α_{max}) – 0,4 м/с²; Продолжительность колебаний (τ , с) – 13,0; Интенсивность колебаний (I , балл) – 6 (для грунтов II категории по сейсмическим свойствам). Такие землетрясения было предложено рассматривать в качестве МРЗ. В

качестве проектного землетрясения (ПЗ), которое может произойти с вероятностью 0,1 в течение 10 лет, было рекомендовано принять событие с параметрами: $M=4,5$; $R=20$ км; $H=15$ км; $T_{ПЗ}=00$ лет; $I=5,0$ баллов.

По результатам СМР (использовались методы сейсмических жесткостей и инженерно-геологических аналогий) расчетная сейсмичность на грунтах III категории по сейсмическим свойствам (илы глинистые, плотность (ρ) – 1,49 г/см³, скорость поперечных волн (V_s) – 100 м/с) составила 6 баллов для землетрясений с $T=100$ лет и 7 баллов ($T=1000$ лет).

К средним по сейсмическим свойствам грунтам были отнесены глины твердые и полутвердые, имеющие $\rho=2,02-2,07$ г/см³, а $V_s=410$ м/с. Согласно расчетному методу (использовалась программа, разработанная Л.И. Ратниковой и М.В. Сакс, ИФЗ им. О.Ю. Шмидта) за счет поверхностного слоя слабых грунтов (илов) возможно приращение +0,5 балла.

Основные результаты выполненных В.В.Севостьяновым (1991) исследований остаточных деформаций в песчаных грунтах сводятся к следующему:

1. Наибольшую склонность к разжижению проявляют водонасыщенные пески и супеси, реже – суглинки.
 2. В большинстве случаев сейсмодеоформации в песчаных грунтах начинают проявляться при землетрясениях с $I=7$ баллов.
 3. Разжижение в песчаных грунтах, как правило, локализуется в приповерхностных частях грунтовой толщи до глубины 5–10 м.
 4. В процессе разжижения происходит оседание поверхности за счет динамического уплотнения рыхлых водонасыщенных отложений. При неравномерном уплотнении в массиве возникают многочисленные вертикальные трещины.
 5. В случае даже незначительных уклонов поверхности ($3^\circ-5^\circ$) возникают оползни разжижения, которые могут трансформироваться в обломочные потоки.
- Согласно нашим исследованиям на шельфе Черного моря [20] оползни разжижения, как следствие сильных ($6,0 < M_w < 8,0$) землетрясений, могут возникнуть и при уклонах шельфа $1,5^\circ-2,0^\circ$.

В 2007 г. оценку сейсмической опасности (УИС) рассматриваемой площадки, используя смешанный вероятностно-детерминированный подход [39,40], выполнила компания Geoter S.A.S., в предположении, что расчетные землетрясения в зонах ВОЗ будут иметь место в наиболее уязвимых точках рассматриваемой площадки. Исследования, в частности, показали, что для землетрясений с $T=5000$ лет (МРЗ), I_0 составляет около 5 баллов (табл.1).

Таблица. 1.

Интенсивность сейсмических воздействий в пределах Южно-Баренцевской синеклизы (расчетный период повторяемости, $T=1000$ лет)

№	Максимальная магнитуда, $M_{\max}$	Исходная сейсмичность, I_0 , баллы	Расчетная сейсмичность, $I_{\text{расч}}$, баллы	Методы
1.	5,2	6	7	Экспертный для оценки I_0 , расчетный и сейсмических жесткостей для оценки $I_{\text{расч}}$
2.	4,2	~5*	-	Вероятностный для оценки параметров зон ВОЗ,

				детерминистический для оценки параметров базовых землетрясений
3.	3,5	4,8	5,4-5,7	Вероятностный для оценки параметров зон ВОЗ, сейсмических жесткостей для оценки $I_{расч}$

*T=5000 лет

Исследования по оценке сейсмической опасности были продолжены в 2009 г. в рамках инженерно-геологических изысканий для разработки проектной документации. В ходе работ (УИС, СМР) сейсмический режим Южно-Баренцевской зоны ВОЗ, которая включает в себя одноименную впадину, был уточнен. Было установлено, что на территории Южно-Баренцевской зоны ВОЗ не зарегистрировано землетрясений с $M \geq 3.9$, поэтому ее сейсмический потенциал был принят как фоновый для основной части Русской платформы ($M_{max}=3,5 \pm 0,2$) (табл. 1).

Расчет сейсмической сотрясаемости (средней частоты повторения сейсмических воздействий балльности I в данной точке) проводился по программе расчета сейсмической сотрясаемости [36], в которой используются: матрица M_{max} ; матрица сейсмической активности $A_{3.3}$; наклон графика повторяемости b и параметры уравнения макросейсмического поля, принятая глубина залегания сейсмоактивного слоя. При расчетах I_0 для всей территории использовалось одно уравнение макросейсмического поля [32], применяемое для Русской платформы (рис. 5) в виде:

$$I_i = bM - v \lg \sqrt{\Delta_i^2 + h^2} + c;$$

где I_i – интенсивность сотрясений на эпицентральной расстоянии Δ_i от эпицентра, h – глубина гипоцентра, b , v и c – константы. Использовались следующие значения указанных констант: $b=1,5$, $v=3,5$ и $c=3,0$.

Результаты расчета показали, что исходная сейсмичность в районе размещения проектируемого объекта с 5% вероятностью его превышения за 50 лет и средним периодом повторяемости 1 раз в 1000 лет составляет 4,8 балла.

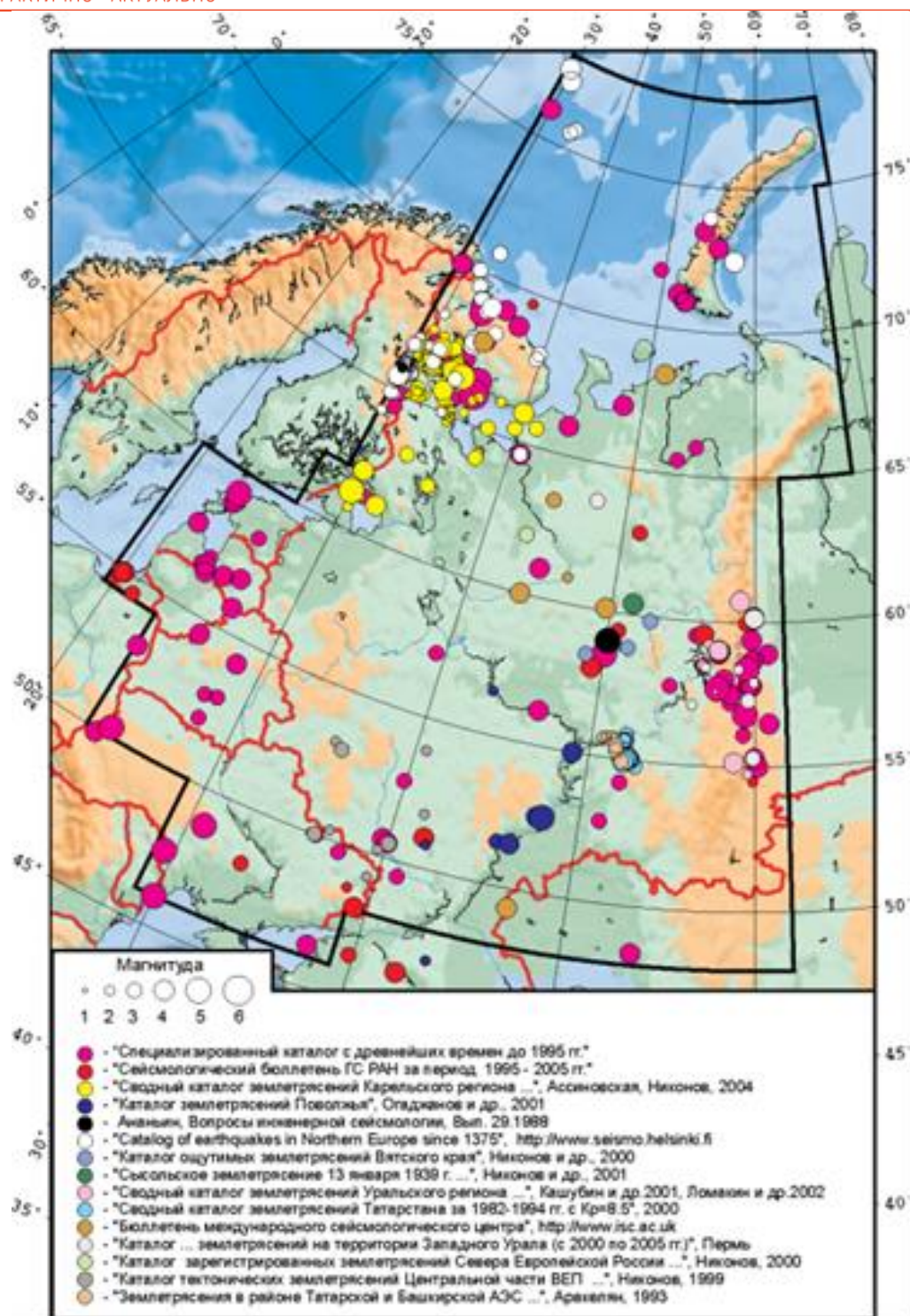


Рис. 5. Сводная карта эпицентров землетрясений Восточно-Европейской платформы с 1467 по 2005 гг. [11]

Расчеты приращения сейсмической интенсивности выполнены с использованием метода сейсмических жесткостей (МСЖ), при этом использованы значения скоростей поперечных волн (V_s) для 10-метровой верхней толщи грунтов. В результате СМР в каждой точке определены приращения сейсмической интенсивности (ΔI) и сами величины сейсмической интенсивности.

При расчетах V_s использовались зависимость линейной теории упругости: $G = \rho_0 V_s^2$, где G – динамический модуль сдвига, ρ – плотность грунта, а также корреляционная зависимость: $G = 1000 C$, где C – удельное сцепление.

Полученные таким образом величины скоростей поперечных волн для «слабых» глинистых грунтов хорошо соответствуют данным сейсморазведки. В грунтах различных инженерно-геологических элементов осредненные значения V_s составляют 60–450 м/с. В качестве параметров «средних» грунтов в соответствии с рекомендациями [32] были приняты значения $\rho_0 = 1,8 \text{ г/см}^3$ и $V_s = 300 \text{ м/с}$. В среднем мощность «слабых» грунтов составляет около 4–5 м. Они представлены, в основном, илами глинистыми текучими, глинами и суглинками текучепластичной консистенции. Значения природной влажности (W_e), плотности (ρ) и коэффициента пористости (e) илов соответственно равны 0,91, 1,49 г/см³ и 2,513. Характеристики глин: $W_e = 0,42$, $\rho = 1,78 \text{ г/см}^3$, при расчетном $e = 1,159$, суглинков: $W_e = 0,33$, $\rho = 1,88 \text{ г/см}^3$, $e = 0,929$.

Установлено, что решающее влияние на приращение балльности, при прочих равных условиях, оказывает мощность «слабых» грунтов. В Южно-Баренцевской впадине их вскрытая мощность достигает на некоторых участках 10,5 м (ΔI здесь наибольшее, и составляет + 1 балл). Однако расчетная сейсмичность даже в этом случае не превышает 6 баллов.

Печорское море. В Печорском море в настоящее время размещено несколько МНГС, а также ряд опасных производственных объектов (ОПО) на прибрежной суше. Все сооружения расположены в пределах Тимано-Печорского региона (плиты), который характеризуется слабой сейсмичностью (рис. 1), в пределах доменов с $M = 4,5$ (рис. 6).

Сведения о сейсмоактивных зонах Печорского моря и ближайших архипелагов имеются в ряде работ [1,5, 38]. Ранее (1994 г.) в ходе работ по УИС с учетом схемы сейсмоактивных зон (зон ВОЗ) Баренцевоморского региона (включая Печорское море) (рис.4) было установлено, что максимальное горизонтальное ускорение ($\alpha_{\max}$) на поверхности морского дна в восточной части упомянутой акватории при ПЗ ($T = 100$ лет) равно $0,44 \text{ м/с}^2$ ($I \sim 6$ баллов).

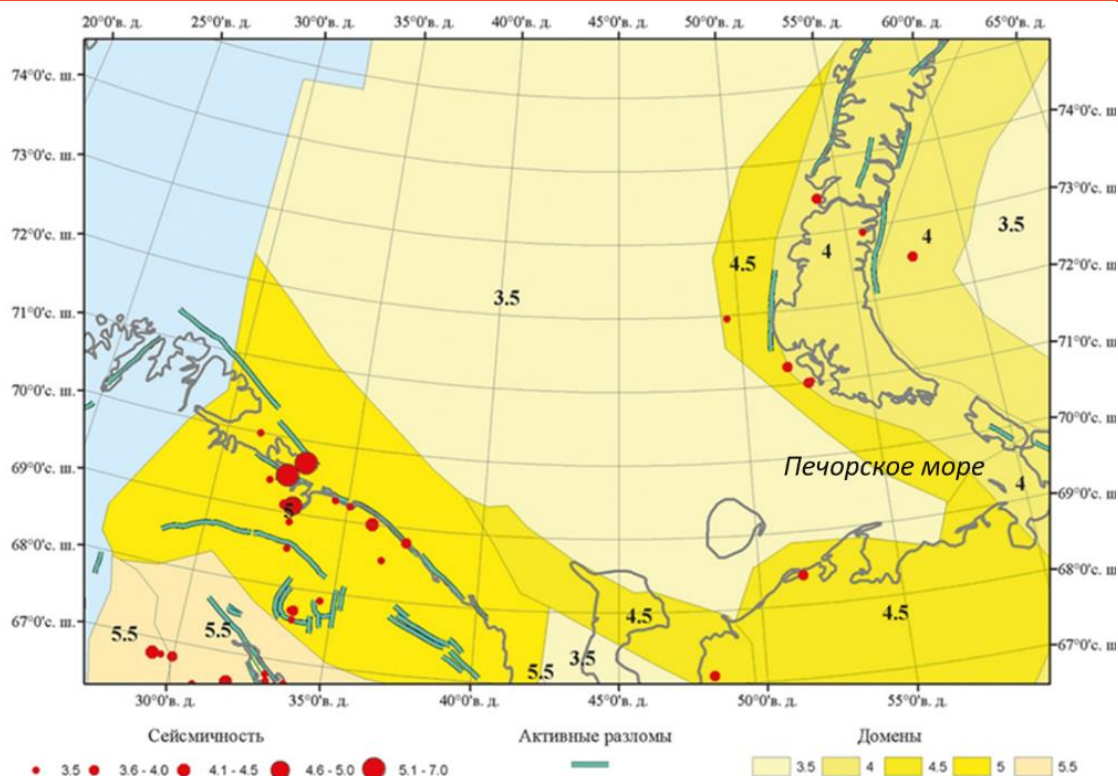


Рис. 6. Фрагмент карт ОСР зон ВОЗ шельфа Баренцевоморского региона (по материалам ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН) [18].

На современных картах сейсмического районирования Российской Федерации ОСР-2016 побережье моря расположено в пределах зоны с ожидаемой интенсивностью землетрясений по категориям А, В и С – 5 баллов по шкале MSK-64. Карты ОСР-А, ОСР-В и ОСР-С, как известно, отражают 10%-ю, 5%-ю и 1%-ю вероятность превышения в течение 50 лет интенсивности сейсмических воздействий, указанных на картах цифрами в баллах шкалы MSK-64, и соответствует повторяемости сейсмических сотрясений в среднем один раз в 500 (карта А), 1000 (В) и 5000 (С) лет. Большинство сейсмических явлений в регионе относится к Новоземельской зоне сейсмической активности. Здесь 1 августа 1986 г. близ южного берега пролива Маточкин Шар произошло землетрясение с m_{bmax} 4,6. (рис. 5,7).

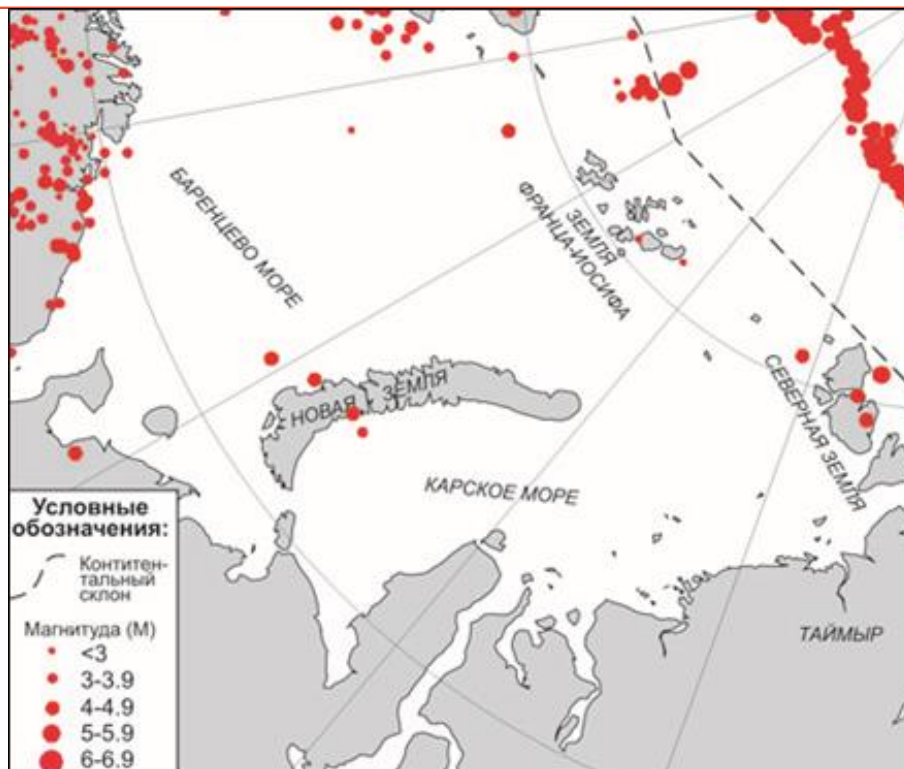


Рис. 7. Эпицентры землетрясений западно-арктической материковой окраины (1970-начало 90-х гг.) [2]

При проектировании объекта, расположенного в пределах домена с $M=4,5$, было рекомендовано использовать карту ОСР-97-С и принять исходную (фоновую) сейсмичность равной 6 баллам (в соответствии с уровнем сейсмичности, полученной для пос. Индига, который находится приблизительно в 400 км к западу от объекта. На наш взгляд, такая консервативная оценка уровня сейсмичности площадки была вполне оправдана, учитывая уровень ответственности сооружений (повышенный) и значительную неопределенность оценок сейсмической опасности акваторий. В отсутствие точных данных в практике оценок опасности и риска геологических процессов часто применяются консервативные критерии. Соответственно, расчетная сейсмичность участков, где в грунтовой толще преобладают глины и суглинки тугопластичной консистенции, глины и суглинки полутвердой-твердой консистенции ($I_L < 0,5$) согласно Таблице 1 СНиП II-7-81 [34] составила 6 баллов, а на участках, где широко развиты текучепластичные-текучие глины и суглинки, водонасыщенные пески (грунты III группы по сейсмическим свойствам по Таблице 1 СНиП II-7-81) возможное сейсмическое воздействие – 7 баллов.

На рисунке 8 обращает на себя внимание зона концентрации эпицентров землетрясений на территории Полярного Урала, расположенная приблизительно в 230 км от морских объектов в Печорском море. В соответствии со схемой сейсмического районирования Республики Коми, здесь выделяется Воркутинская сейсмогенная зона, в которой возможны как природные, так и техногенные сейсмические события. Интенсивность местных природно-техногенных землетрясений составляет здесь $4,0 \leq I_0 \leq 5,0$ по шкале MSK-64 [14, 16], а $m_b = 3,4-5,0$. Эта зона граничит с районом неотектонической активизации древних складчатых образований Пайхой-Новоземельской складчатой области. В ее пределах, согласно карте ОСР-2016-С, возможны землетрясения интенсивностью 6 баллов.

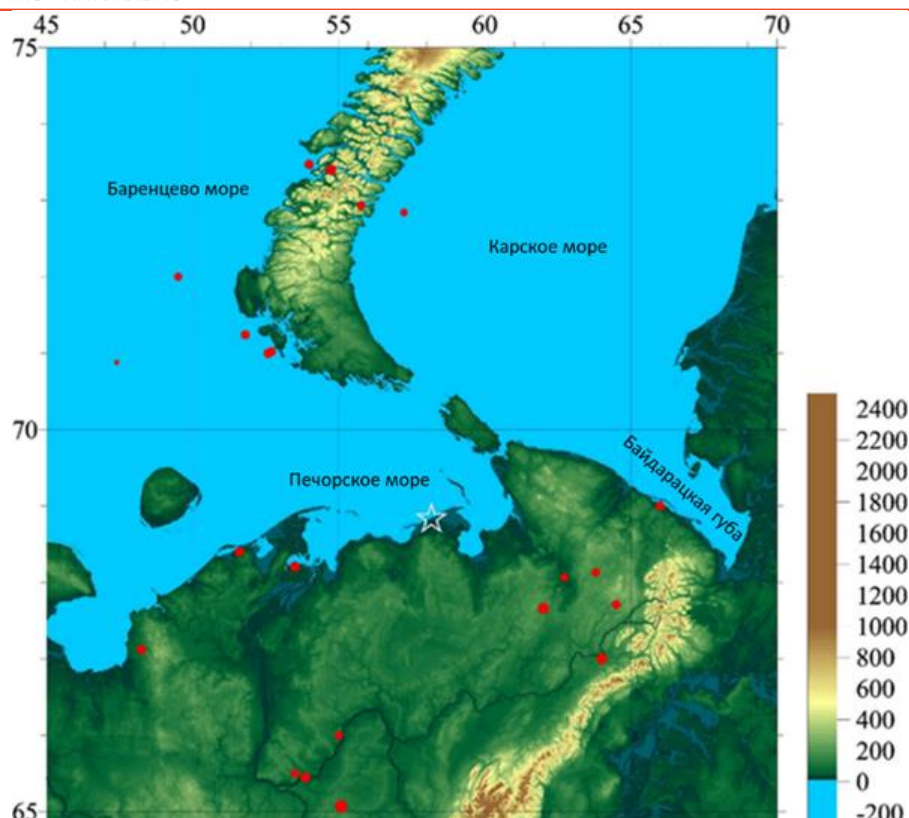


Рис. 8. Карта Печорского моря и юго-западной части Карского моря с эпицентрами землетрясений

Как видно на рисунке 6, практически все южное побережье Печорского моря по данным ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН находится в пределах крупного домена с $M=4,5$. Проведенные на площадке ОПО исследования по оценке сейсмической опасности включали УИС и СМР. Изученный участок находится в зоне развития высокой лайды с отметками поверхности 3–5 м. В сложнопостроенной грунтовой толще, изученной до глубины 18–20 м, прослеживаются (сверху вниз): пески талые, с глубины 1,5–3,0 м мерзлые, пески водонасыщенные, охлажденные, супеси и суглинки мерзлые, линзы криопэггов. Преобладают грунты III категории по сейсмическим свойствам.

Уровень сейсмической опасности в районе работ определяется, в основном, тектоническими швами (геодинамическими зонами), активными на новейшем этапе развития: Малоземельским (3), Большеземельским (4), Чернова (31) и Западно-Пайхойским (32) (рис. 9).

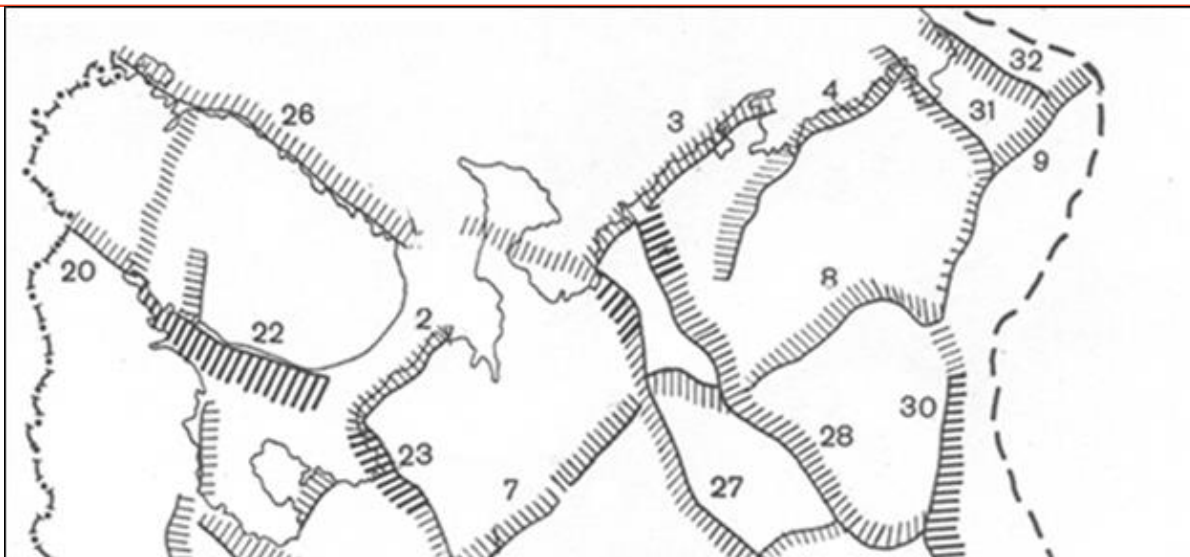


Рис. 9. Схема главных тектонических швов (линеаментов), активных на новейшем этапе развития (фрагмент) [8]

Анализ сейсмичности исследованного района показал наличие сейсмических событий, приуроченных к тектоническим узлам с основной магнитудой 3,5–4,5, распределенных по площади неравномерно. В то же время авторы указанной работы [8], а также А.А. Никонов и Н.Г. Мокрушина [25] не исключают возникновение в пределах выделенных тектонических активных швов зон землетрясений с магнитудой $M_S=5$ (рис. 9). При этом T землетрясений с $M_S=4,5$ составляет 1 раз в ~2000 лет, а с $M_S=5,0$ – 1 раз в ~5000 лет. Гипоцентры землетрясений сосредоточены в интервале глубин 5–10 км.

Расчеты сейсмических воздействий на площадках с учетом параметров землетрясений $M_{max}=4,5-5,0$; $H=5-10$ км и эпицентрального расстояния $\Delta=20-53$ км показали, что на коренном, «скальном» грунте сценарные землетрясения вызывают сейсмический эффект в диапазоне от 4 до 5 баллов. На всех грунтовых толщах наблюдается значительное усиление сейсмического эффекта по сравнению с коренным грунтом. Приращение балльности ΔI составляет от 1,6 до 2,3 баллов (расчет колебаний на поверхности грунта выполнен по программе О.В. Павленко [28]). Максимальная интенсивность сейсмических воздействий $I_{расч}$ (с округлением до целочисленных значений) составила 6 баллов по шкале MSK-64 (на средних грунтах). Отмечен эффект резонансного усиления сейсмических колебаний приповерхностными грунтами. Это явление, которое влияет на приращение ускорений, скоростей и смещений частиц грунта, обязательно нужно учитывать при СМР, а на картах СМР указывать помимо балльности (значений максимальных ускорений), резонансные частоты «рыхлого» слоя.

При оценке сейсмической опасности для объектов повышенной ответственности, согласно [35], необходимо учитывать все зоны ВОЗ, которые определяют уровень сейсмических воздействий в том или ином регионе. С учетом исследований, проведенных ранее [1,5,26], в Печорском море таковыми являются следующие сейсмогенные зоны: 1. Североуральская ($M_{max}=5,0$, $h=10$ км); 2. Малоземельская ($M_{max}=5,0$, $h=5-10$ км); 3. Большеземельская ($M_{max}=5,0$, $h=10$ км); Чернова ($M_{max}=5,0$, $h=5$ км).

Карское море. Берега Карского моря, как и Печорского, согласно картам ОСР-97, ОСР - 2016, находятся в пределах зоны с ожидаемой интенсивностью землетрясений 5 баллов по шкале MSK-64 (рис. 1). В 2009 г. ИФЗ РАН были выполнены исследования по уточнению

исходной сейсмичности подводного перехода многониточного газопровода через Байдарацкую губу (рис. 8). Работы включали:

- уточнение строения геологической среды с выявлением активных тектонических зон;
- уточнение сейсмического режима территории;
- определение пространственного положения сеймотектонических зон, являющихся основными источниками землетрясений;
- количественная оценка исходного балла.

Район перехода представляет собой пограничную область между двумя крупнейшими структурными элементами: Западно-Сибирской плитой и Уралом. Разграничивающий их разлом имеет древнее заложение и современной активностью не характеризуется. Относительно близко к району размещения подводного перехода зафиксировано 5 сейсмических событий. Магнитуды локальных землетрясений изменяются в интервале 3,4 – 4,6.

На основании анализа сейсмичности, тектоники и геологии района выделены две зоны ВОЗ (Североуральская и Переходная), а также области рассеянной сейсмичности.

Североуральская зона в соответствии с работой [26] характеризуется следующими параметрами землетрясений: $M_{\max}=5,0$, $h=10$ км (рис. 10).

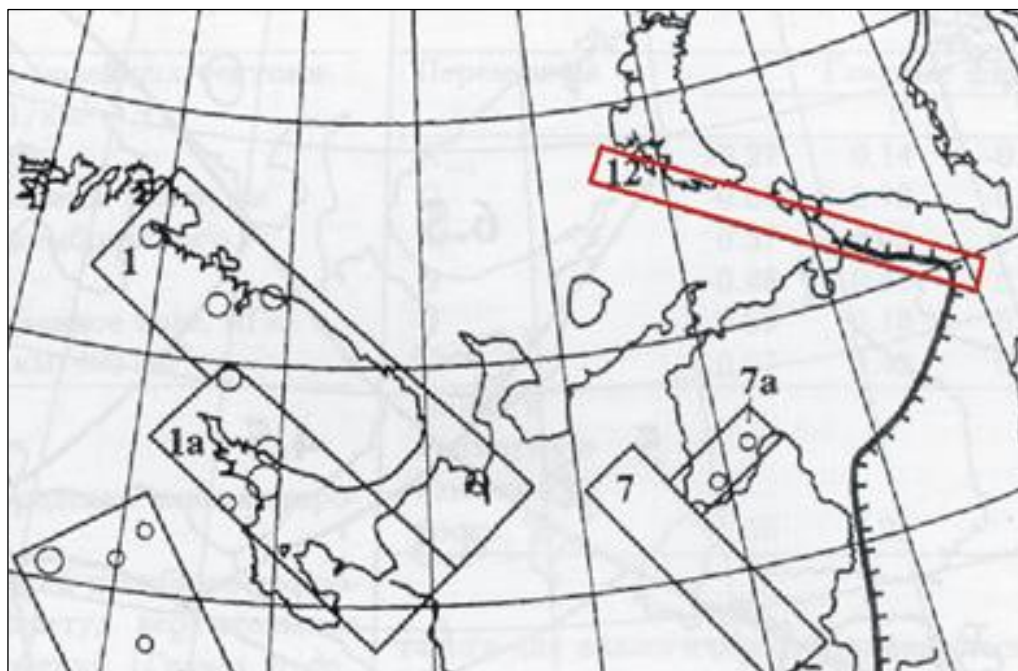


Рис. 10. Схема зон ВОЗ севера Восточно-Европейской платформы, Печорского моря и юго-западной части Карского моря [26]. Красный прямоугольник – зона ВОЗ «Североуральская»

Переходная зона связана с Пахтусовским разломом, следующим почти параллельно тектонической границе между Северным Уралом и Западно-Сибирской плитой. В этой зоне располагается эпицентр землетрясения с $M = 3,7$. $M_{\max}$ для Переходной зоны принята равной 4,5.

Расчеты вероятностным методом с использованием программы SEISRISK III показали, что для средних грунтовых условий сила сотрясений, вызванных землетрясениями с $T=500$, 1000 и 5000 лет составляет в районе перехода, соответственно, 3,8–4,2, 4,2–4,5 и 5,0–5,4 балла по шкале MSK-64.

На большей части исследованного дна Байдарацкой губы осадки в верхней 10-ти метровой части разреза представлены морскими, прибрежно-морскими и аллювиально-морскими отложениями позднего плейстоцена и голоцена. В пределах глубоководной части акватории губы это преимущественно суглинистые илы, глины текучепластичные, суглинки текучие, которые ближе к ямальскому и уральскому берегам замещаются водонасыщенными песками мелкими и пылеватыми. Редко в глубоководной части встречаются суглинки тугопластичные ($I_L=0,33$, $e = 0,72$), а в береговой зоне мерзлые грунты.

Учитывая вид, физические свойства, состав и состояние изученных грунтов, большую их часть следует отнести к III категории групп по сейсмическим свойствам, что влечет за собой приращение сейсмической интенсивности на 1 балл. Таким образом, расчетная сейсмичность площадки строительства подводного перехода составляет 5,2–5,5 балла для землетрясений с периодом повторяемости $T=1000$ лет.

Заключение

Настоящий обзор дает основание для следующих основных выводов:

1. Экспертные оценки параметров зон ВОЗ 1994 г., выполненные в Баренцевом и Печорском морях, дают завышенные значения $M_{\max}$ и I_0 .
2. Результаты аналогичных работ (УИС), выполненных в Баренцевом и Карском морях с использованием вероятностного метода, в целом, соответствуют значениям I_0 , отображенных на картах ОСР-2016 в пределах суши.
3. Не исключено, учитывая наличие зон ВОЗ на юге и востоке Печорского моря с $M_{\max}=5,0$ и данные ОСР прилегающей суши, что в этих частях акватории указанного бассейна $I_0=6$ ($T=5000$ лет).
4. В «Североуральской» зоне ВОЗ (Печорское море) при наиболее неблагоприятном сценарном землетрясении (очаг мелкофокусного землетрясения находится непосредственно под площадкой строительства) I_0 может составить 7 баллов (детерминированный подход).
5. Требуется оценка I_0 в западно-арктических морях путем проведения ДСР и расчета I_0 на основе вероятностного анализа сейсмической опасности.
6. Наиболее опасными в сейсмическом отношении являются участки морского дна ($\Delta I = +1$ балл) с повышенной мощностью илов или сложенные грунтами с резко различными свойствами и состоянием (талыми и мерзлыми). В последнем случае возможен эффект резонансного усиления сейсмических колебаний.

Список литературы

1. Аветисов Г.П. Сейсмоактивные зоны Арктики. СПб.: Изд-во ВНИИОкеангеология, 1996. 185 с.
2. Аветисов Г. П. Сейсмичность арктической материковой окраины России. Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Т. 5. Арктические и дальневосточные моря. Кн.
3. Арктические моря / ред. И С. Грамберг, В. Л. Иванов, Ю. Е. Погребницкий. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. С. 31-43
4. Антоновская Г.Н., Капустян Н.К., Кременецкая Е.О. Концепция сейсмического мониторинга в Арктике для снижения риска природных и техногенных катастроф // Конкурентный потенциал северных и арктических регионов: Сб. научных трудов / Отв. ред. д.э.н. В.И. Павленко. Архангельск, 2014. С.5-10.

5. Ассиновская Б. А. Зоны сейсмической активности Баренцева моря//Морская сейсмология и сейсмометрия. Институт океанологии им. Ширшова АН СССР. М.,1989. С. 104-109.
6. Ассиновская Б. А. Сейсмичность Баренцева моря М.: Нац. геофиз. ком., 1994. 128 с.
7. Ассиновская Б. А. Нахшина Л. П. Объяснительная записка к комплекту карт и схем «Сейсмическая опасность на Баренцевом море». АН СССР. Кольский научный центр. Геологический институт. Апатиты. 1990
8. Ассиновская Б. А., Соловьев С. А. Опыт выделения и характеристики зон возможных очагов землетрясений в Баренцевом море//Изв. РАН Физика Земли. 1993. №8. С. 15-27.
9. Бабак В.И., Николаев Н.И. Пояснительная записка к карте геоморфолого-неотектонического районирования Нечерноземной зоны РСФСР (за исключением горной части Урала и Калининградской области). Масштаб 1: 1 500 000. М.: 1983. 46 с.
10. Баранов Б. В., Дозорова К. А., В.А. Рашидов В. А. и др. Подводные оползни континентальных окраин Арктического бассейна// Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2018. № 4. Вып. 40. С.51-68.
11. Богоявленский В.И., Богоявленский И.В. Особенности геологического строения и разработки нефтегазовых месторождений в регионе Северного моря «Гронинген» и «Экофиск» // Бурение и нефть. 2014. № 4. С. 4 – 8.
12. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы. Кн.1 Землетрясения. Ред. Н.В.Шаров, А.А.Маловичко, Ю.К.Щукин. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2007. 381 с.
13. Ионов В. Ю., Калинин Э. В., Фоменко И. К., Миронюк С. Г. Условия формирования подводных оползней в отложениях бровки континентального склона Черного моря в районе поселка Архипо-Осиповка // Инженерная геология. 2012. № 5. С. 36–46.
14. Карта общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-2016. Введена в действие с 26 июня 2020 г. с Изменением № 1 к СП 14.13330.2018. Приказом Минстроя РФ № 886/пр. от 26 декабря 2019 г.//Инженерные изыскания. Том XIV. №1. 2020. С. 74-77.
15. Конечная Я. В. Особенности природной сейсмичности западного сектора Арктической зоны РФ. Автореферат дис. ... на канд. тех. наук. Архангельск, 2015. 25 с.
16. Куликов Е. А., Иващенко А. И., Миронюк С. Г. Оценка цунамиопасности на северо-восточном побережье о. Сахалин и уроки аварии на АЭС Фукусима-Дайичи // Геориск. 2015. № 1. С. 26–30.
17. Лютоев В.А., Лютоева Н.В. Особенности сейсмического районирования платформенных областей (на примере Республики Коми) // Успехи современного естествознания. 2017. № 3. С. 102-111; URL: <http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36420> (дата обращения: 19.10.2020)
18. Методика оценки сейсмических условий шельфовых зон для сейсмического микрорайонирования площадок инженерных сооружений. Авторы: Баулин Ю. И., Заботкина Л. В. 1991.
19. Миндель И. Г., Трифонов Б. А., Кауркин М. Д. и др. Оценка исходных сейсмических воздействий для северной части шельфа Баренцева моря (р-н Новой Земли) для решения задач сейсмического микрорайонирования территорий освоения перспективных участков добычи углеводородов// Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2019. №2. С. 38–47.

20. Миронюк С. Г., Отто В. П. Газонасыщенные морские грунты и естественные газовыделения углеводородов: закономерности распространения и опасность для инженерных сооружений // Геориск. 2014. № 2. С. 8–18.
21. Миронюк С. Г., Кропоткин М. П. Возможный механизм и причины образования Утришских оползней суши и шельфа (полуостров Абрау) // Закономерности формирования и воздействия морских, атмосферных опасных явлений и катастроф на прибрежную зону РФ в условиях глобальных климатических и индустриальных вызовов (Опасные явления – II). ЮНЦ РАН Ростов-на-Дону, 2020. С. 52–57.
22. Миронюк С. Г., Манжосов С. В., Ионов В. Ю. Оценка сейсмической разжижаемости морских грунтов на шельфе острова Сахалин // Инженерные изыскания 2011. №6. С. 6-15.
23. Миронюк С. Г., Росляков А. Г., Иванова А. А. и др. Выявление и подходы к анализу опасности и риска разрывных нарушений при инженерно-геологических изысканиях на акваториях // Инженерные изыскания. 2020. Т. 14, № 1. С. 24–38.
24. Молчанов В.П., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Риски чрезвычайных ситуаций в арктической зоне Российской Федерации; МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). 2011. 300 с.
25. Морозов А.Н., Ваганова Н.В., Конечная Я.В. Сейсмичность северной акватории Баренцева моря в районе трогов Франц-Виктория и Орла // Геотектоника. 2014. № 3. С. 78–84.
26. Никонов А.А., Мокрушина Н.Г. Землетрясение в Печорском крае 20 апреля 1914 г. / Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов: Материалы Всероссийск. конф., Архангельск, 13-18 сент. 2004 г. Архангельск, 2004. Т. II. С. 78-81.
27. Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии (Ред. А.Ф. Грачев). М.: 2000. 487 с.
28. Новый каталог сильнейших землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. Москва, «Наука», 1977, 536с.
29. Павленко О.В. Исследование поведения грунтов при сильных землетрясениях по записям вертикальных сейсмических групп // Физика Земли. 2005. № 2. С. 30–40.
30. Пагани М., Гарсиа-Пелаес Х., Джи Р., Джонсон К., Погги В., Старен Р., Вымерил Г., Симионато М., Вигони Д., Данчу Л., Монелли Д. (2018). Карта сейсмической опасности Global Earthquake Model (GEM) (версия 2018.1 - декабрь 2018), DOI: 10.13117 / GEM-GLOBAL-SEISMIC-HAZARD-MAP-2018.1 Пискарев А.Л. Арктический бассейн (геология и морфология). СПб.: ВНИИОкеангеология, 2016. 291 с.
31. Пискарев А.Л. Арктический бассейн (геология и морфология). СПб.: ВНИИОкеангеология, 2016. 291 с.
32. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства. ПНИИИС Госстроя СССР. М.: 1985. 73 с.
33. РСН 60-86. Республиканские строительные нормы. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ. Госстрой РСФСР. М.: МосЦТИСИЗ Госстроя РСФСР. 1986. 32 с.
34. РСН 65-87. Республиканские строительные нормы. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования к производству работ. М.: Стройиздат, 1986. 32 с.
<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294854/4294854919.htm>
35. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах. М.: Госстрой СССР, 1982. 80 с.

36. СП 286.1325800.2016. Объекты строительные повышенной ответственности. Правила детального сейсмического районирования. М.: Стандартинформ, 2017. 36 с.
37. Сейсмическое районирование территории СССР. М.: Наука, 1980. 308 с.
38. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1: 8 000 000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ, 1999.
39. Юдахин Ф.Н., Щукин Ю.К., Макаров В.И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 300 с.
40. API RP 2A, Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms - Working Stress Design, American Petroleum Institute, Washington DC, 2003.
41. NFPA 59A (2006 Edition). Standard for the production, storage and handling of Liquefied Natural Gas (LNG).