

Рогожин Е. А., д-р геол.-минерал. наук, проф.
(ИФЗ РАН, ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», г. Москва),
Акбиев Р. Т., канд. техн. наук
(ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», г. Москва)

К ВОПРОСУ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ТЕРРИТОРИИ ПРОХОЖДЕНИЯ НАЗЕМНЫХ И МОРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ ПУТЕЙ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Исследования посвящены актуальной проблеме, связанной с созданием и организацией работы Федеральной арктической сейсмической сети РФ, объединяющей в себе мониторинг территории Российской Арктики и мониторинг ответственных объектов. Показано, что в случае реализации проекта в рамках государственной программы подобный подход, кроме практических результатов по обеспечению безопасного функционирования антропогенных объектов, открывает огромные перспективы для развития фундаментальных научных исследований, как в области геофизики, так и в других науках.

Ключевые слова: сейсмические воздействия, сейсмический мониторинг, государственное планирование, арктическая сейсмическая сеть, транспортные пути, Арктика.

Описание проблемы

Новой карте сейсмичности европейского сектора Российской Арктики, современному состоянию и перспективам развития системы сейсмического мониторинга ее территории, а также возможностям решения данной проблемы в рамках соответствующей государственной программы посвящены работы [1], [2]. Показано, что необходимость использования программно-целевого метода и государственного планирования для продолжения исследований данного направления связаны с освоением природных ресурсов Арктики, которое стимулирует развитие транспортного обеспечения территорий.

На рисунке 1 представлен фрагмент карты с нанесением ряда ответственных объектов Западного арктического сектора Российской Федерации (http://www.mrts.ru/en/index.php?option=com_content&limitstart=10) из которого видно, что развитие данной территории связано, например, с наращиванием грузоперевозок по Северному морскому пути (СМП), а также с реализацией проекта по созданию железнодорожной магистрали «Северный широтный ход», соединяющей Северную железную дорогу со Свердловским транспортным узлом.

Наземная транспортная инфраструктура в Арктике разворачивается на территории, где присутствуют вечномёрзлые грунты различных типов. Их свойства

и поведение при техногенных нагрузках изучены недостаточно полно, особенно учитывая потепление климата в регионе. Выявляется деградация вечномёрзлых грунтов и оттаивание их с поверхности, что приводит к развитию деформаций зданий и сооружений и, как следствие может приводить к аварийным ситуациям, а также к необходимости значительных затрат на поддержание температурных условий

в течение всего срока эксплуатации объектов [3]. Мониторинг состояния грунтов может осуществляться современными сейсмическими методами, развиваемыми совместно Институтом физики Земли Российской академии наук (ИФЗ РАН) и Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени Академика Н.П. Лаверова Российской академии наук (ФИЦКИА РАН) [1] — [4].



Рисунок 1 — Фрагмент карты с нанесением ряда ответственных объектов Западного арктического сектора Российской Федерации

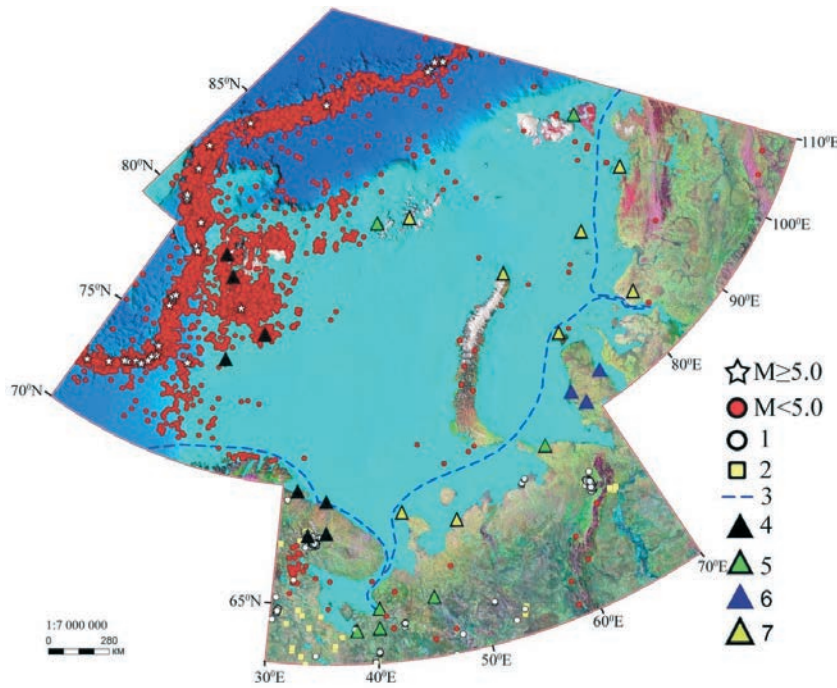


Рисунок 2 — Сводная карта распределения сейсмических событий за 2005–2017 гг. в Западном арктическом секторе РФ: для архипелага Новая Земля — сведения о землетрясениях с 1974 по 2017 гг., для севера ВЕП — с 1991 по 2017 гг., для архипелага Северная Земля — с XI. 2016 по V. 2017 (составлена Антоновской Г. Н., Капустян Н. К., Конечной Я. В.)

Другим фактором, влияющим на промышленную безопасность, являются сейсмические воздействия — природные, природно-техногенные и техногенные (вторичные).

Развертывание системы сейсмологических наблюдений на Крайнем Севере и в Арктике выявили неизвестные ранее проявления сейсмичности территорий на границе континентального шельфа, в том числе и в районах прохождения СМП. Существенно, что учет сейсмичности не заложен в методику комплексного прогноза ледовой ситуации. Следует заметить, что даже относительно слабое землетрясение в акватории может значительно изменить ледовую обстановку (торосистость), что затруднит прохождение судов.

Многолетние наблюдения на различных территориях со слабой сейсмической активностью показывают, что интенсивная хозяйственная деятельность может приводить к усилению сейсмичности территории. Слабые сейсмические события и их вторичные эффекты, произошедшие в пределах размещения отдельных объектов, также приводят к авариям. Не стоит исключать подобных негативных процессов и на арктических территориях, которые, с точки зрения сейсмологии, изучены

недостаточно, а на ликвидацию последствий аварий, в случае их происхождения потребуются существенные затраты.

В этой связи одной из актуальных задач, которая должна быть решена в рамках государственной программы по Арктике, является обеспечение безопасности функционирования соответствующих объектов с созданием современных систем мониторинга, нацеленных на выявление изменений в грунтах оснований различных объектов.

Подходы к решению проблемы

Рассмотрим возможности решения такой задачи, по которым имеется значительный задел.

1. Одним из путей решения является развертывание арктической сейсмической сети РФ путем установки новых пунктов сейсмометрических наблюдений в дополнение к действующей национальной сети, показанной на рисунке 2 (<http://www.ceme.gsras.ru/ceme/net.htm>).

По данным исследований [2] зафиксированы единичные землетрясения в районах нефтегазовых месторождений. В 2016 г. был открыт пункт сейсмических наблюдений на архипелаге Северная Земля в рамках сотрудничества ФИЦКИА РАН с Арктическим и антарктическим научно-

исследовательским институтом (ААНИИ) [4]. В 2017 г. в рамках создания Карско-Баренцевоморской сети сотрудниками Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук (ФИЦ ЕГС РАН) было установлено 3 станции на полуострове Ямал, носящих пока временный характер (публикации о первых результатах функционирования станций отсутствуют) [5].

Существенно, что имеющиеся сейсмические станции принадлежат разным ведомствам, оснащены аппаратурой разного типа, нет единого центра сбора данных и обработки арктических событий. Все это затрудняет создание единого представления о сейсмичности Арктики. В то же время, в арктической зоне на территории зарубежных стран работает в десятки раз больше станций и сейсмических групп.

Исследователями [1] — [4] отмечено увеличение сейсмической изученности в районе прохождения СМП после открытия пункта сейсмических наблюдений на архипелаге Северная Земля в ноябре 2016 года. За первые 5 месяцев работы было зарегистрировано свыше 150 региональных землетрясений и семь локальных событий. Большинство событий произошло в районе архипелага, что говорит о современной сейсмической активности этого региона (рисунок 2).

Особенностью арктических морей является их замерзание. Согласно результатам многолетних исследований ГНЦ ААНИИ — «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (www.aari.ru), описанных в многочисленных трудах исследователей данного института для Карского моря ледообразование начинается в сентябре-ноябре в зависимости от района, за зиму лед достигает в среднем 0.5–1.5 м толщины, таяние ледяного покрова в его юго-западной части моря начинается в конце мая.

На рисунке 3 по материалам, опубликованным в сети Интернет на портале (http://www.nsr.ru/ru/navigatsionnaya_i_gidrometinformatiya/icecharts.html), приведен пример карты ледовой обстановки за 19–21 ноября 2017 года, с нанесенной сейсмической информацией по данным каталога лаборатории сейсмологии ФГБУН ФИЦКИА РАН.

Сейсмические события могут приводить к изменению торосистости льда (подобный факт требует более детальных научных исследований с подключением данных космической съемки), что может затруднять судоходство. Согласно иссле-

дованиям ААНИИ (Миронов Е.У., Порубаев В.С. и др.) кили ледяных торосов могут создавать статические и динамические нагрузки на подводные трубопроводы, вызывая их повреждения.

Таким образом, дополнительное открытие сейсмических пунктов в районе прохождения СМП позволит существенно повысить чувствительность арктической сети в целом. По теоретических расчетах минимальная магнитуда для всего Западного арктического региона снизится до $M_{\min} = 1,8$, а в районе СМП до $M_{\min} = 0,8$. При этом целесообразно комплексировать мониторинг ледовой обстановки, выполняемый Росгидрометом, с мониторингом сейсмичности.

2. Создание постоянно действующей системы сейсмического мониторинга необходимо также вдоль линий железнодорожной магистрали, в частности, вдоль Северного широтного хода (СШХ) (см. рисунок 1).

Ветка проектируемого железнодорожного полотна будет проходить по территории, которой присущи участки вечной мерзлоты, заболоченности, распространения карстовых процессов, что проявится в виде повышенной деформативности пути из-за этих процессов. В последние годы в России и за рубежом получили развитие полевые методы исследования грунтов, прежде всего, это статическое и динамическое зондирование. Отметим, что при всей эффективности этих методов они не могут выполнять постоянный (непрерывный) контроль земляного полотна и обнаруживать явление на ранней стадии его развития, они это лишь разовая диагностика на опасных участках.

В условиях современного состояния аппаратной и информационной инфраструктуры имеется возможность подойти к решению данной проблемы на принципиально новом уровне. А именно: создание стационарных пунктов сейсмического мониторинга вдоль полотна, нацеленных на выявление на ранней стадии негативных природно-техногенных изменений в состоянии железнодорожного полотна и подстилающих грунтах для территорий Крайнего Севера и Сибири; оперативная передача информации в центр управления, автоматический анализ данных и определение уровня опасности участка. Эффективность технологии достигается сопоставлением натуральных наблюдений с базой данных изменения параметров. Отметим, что научно-исследовательские работы в этом направлении уже начаты, например, проект РФФИ, проводимый

совместно с ОАО «Российские железные дороги» по теме «Разработка технологии сейсмического мониторинга и экспресс-оценка состояния земляного полотна железнодорожных путей в условиях Крайнего Севера и Сибири», № 17-20-02119.

Предложения по участникам проекта

Сейсмологический мониторинг Арктики наиболее молодой и наименее детальный вид исследований в северном полушарии. В Европейском секторе Арктики наблюдения ведут следующие сейсмические сети: отечественные — Кольского филиала ФИЦ ЕГС РАН, ФИЦКИА РАН — Архангельская сейсмическая сеть, зарубежные — в Норвегии (NORSAR), Швеции (SNSN), Финляндии (HE, FN), Польше (PL) и др.

Ведущим институтом, занимающимся изучением современной геодинамики, сейсмотектоники, оценкой сейсмической опасности в России является ИФЗ РАН, имеется соглашение о научно-техническом сотрудничестве с ФИЦКИА РАН, коллектив которого на протяжении многих лет занимается:

— изучением сейсмической активности платформенных территорий, срединно-океанических хребтов, шельфовых областей и пр.;

— разработкой методик по выявлению сейсмических событий, определению их природы;

— уточнением глубинного строения Европейского сектора Арктики;

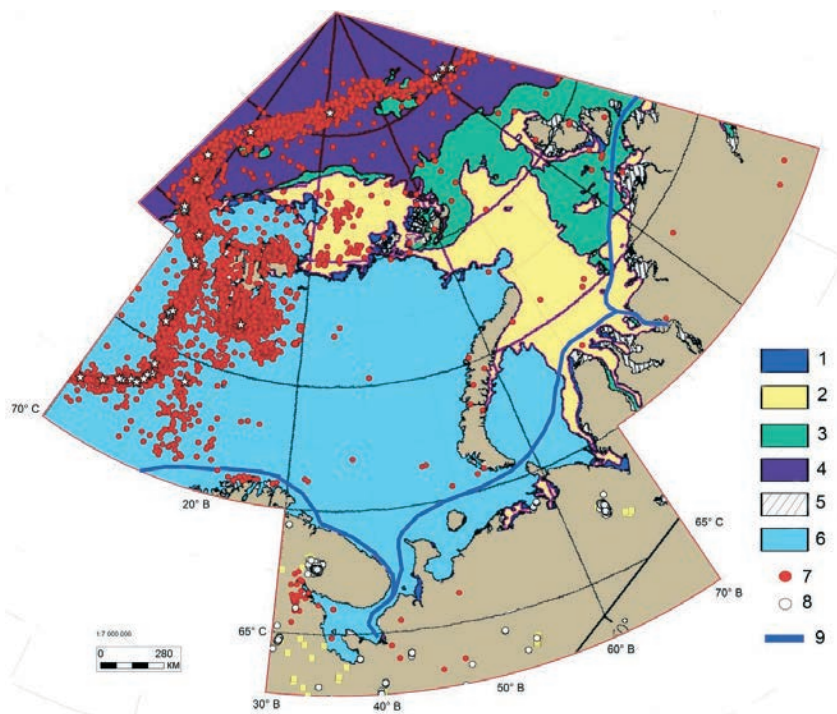
— развитием сети сейсмических наблюдений в Арктике;

— комплексированием пассивных сейсмических методов по уточнению строения верхней части земной коры.

Так как планируемые исследования являются прикладными и касаются объектов градостроительной деятельности и также инфраструктуры, для координации с вопросами строительного блока предлагается в команду партнеров привлечь Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации» (ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России») — ведущий государственный центр страны в области градостроительной деятельности и комплексной градостроительной безопасности.

Предложения по финансированию проекта

Смета затрат по предложенному проекту формируется с учетом следующего.



1 — нилас (0-10 см); 2 — молодой лед (10-30 см); 3 — однолетний лед (30-200 см); 4 — старый лед; 5 — припой; 6 — чисто; 7 — землетрясения; 8 — техногенные события; 9 — Северный морской путь

Рисунок 3 — Анализ ледовой обстановки по данным ИСЗ на 19-21 ноября 2017 с нанесенными данными о сейсмичности по данным каталога лаборатории сейсмологии ФГБУН ФИЦКИА РАН 2017 (составлена Антоновской Г.Н., Капустян Н.К., Конечной Я.В.)

Для мониторинга СШХ необходимо проведение научно-исследовательских работ по выявлению опасных участков и определения системы мониторинга (количества станций).

Для оборудования одного пункта сейсмометрических наблюдений СМШ необходимо следующее оборудование:

- широкополосные сейсмометры с регистратором;
- оборудование для передачи данных;
- оборудование для электропитания автономной станции;
- стройматериалы для изготовления и установки сейсмического бункера.

Дополнительно необходимо учесть:

- транспортную доставку;
- бурение скважин для установки сейсмической аппаратуры;
- работы по обслуживанию сети, обработке и анализу данных;
- зарплату участникам работ (надбавки) и соответствующие налоги;
- командировочные расходы.

Заключение

Исследования, приведенные в настоящей публикации, посвящены вопросам организации создания Арктической сети сейсмометрических наблюдений в Российской Федерации, объединяющей в себе сейсмологический мониторинг территории Российской Арктики, который

предлагается проводить совместно с мониторингом ответственных объектов: протяженных линий железнодорожных магистралей, Северного морского пути, объектов нефтегазового комплекса и пр. Обозначены основные подходы к решению данной проблемы, сформированы предложения по основным участникам проекта и обоснованию его финансирования.

Кроме практических результатов по обеспечению безопасного функционирования антропогенной среды и объектов градостроительной деятельности (территорий; зданий и сооружений; инфраструктурных, в том числе линейных объектов), предложенный подход, в случае его реализации в рамках принятой государственной программы открывает огромные перспективы для развития фундаментальных научных исследований, как в области геофизики, так и в других науках.

Библиография

1. Рогожин Е.А., Антоновская Г.Н., Капустян Н.К. Современное состояние и перспективы развития системы сейсмического мониторинга Арктики. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2015. Т. 42. № 1. С. 58-69.
2. Рогожин Е.А., Капустян Н.К., Антоновская Г.Н., Конечная Я.В. Новая карта сейсмичности европейского сектора Российской Арктики. — М.: Геотектоника. 2016. С. 19-25.

3. Строительство на вечной мерзлоте — потенциал в два триллиона долларов США. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://ardexpert.ru/article/3903> (Дата обращения 14.01.2018).

4. Антоновская Г.Н., Ковалев С.М., Конечная Я.В., Смирнов В.Н., Данилов А.В. Пункт временных сейсмических наблюдений на арх. Северная Земля. /Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Матер. XII Международной сейсмологической школы. Отв. редактор А.А. Маловичко. — Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН. 2017. С. 24-28.

5. Маловичко А.А. Системы сейсмологических и геофизических наблюдений в России. Развитие и новые возможности. /Развитие систем сейсмологического и геофизического мониторинга природных и техногенных процессов на территории Северной Евразии. Материалы Международной конференции, посвященной 50-летию открытия Центральной геофизической обсерватории в г. Обнинске. Отв. ред. А.А. Маловичко. — Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН. 2017. С. 3.

6. Имаева Л.П., Имаев В.С., Козьмин Б.М., Мельникова В.И., Середкина А.И., Маккей К.Д., Аишурков С.В., Смекалин О.П., Овсяченко А.Н., Чипизубов А.В., Сясько А.А. Сейсмотектоника северо-восточного сектора Российской Арктики. — Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2017. 136 с.

eng

Rogozhin E. A., DSc, Prof.
(IPE RAS, TSNIIP of the Ministry of construction of Russia, Moscow)?
Akbiev R. T., PhD
(TSNIIP of the Ministry of construction of Russia, Moscow)

ON THE ISSUE OF ORGANIZATION OF SEISMOMETRIC MONITORING IN THE TERRITORY OF PASSAGE OF LAND AND SEA TRANSPORT ROUTES IN THE ARCTIC ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

Researches are devoted to the actual problem connected with creation and the organization of work of the Federal Arctic seismic network of the Russian Federation, uniting in itself monitoring of territory of the Russian Arctic and monitoring of responsible objects. It is shown that if the project is implemented within the framework of the state program, this approach, apart from practical results for ensuring the safe functioning of anthropogenic objects, opens great prospects for the development of fundamental scientific research, both in geophysics and in other sciences.

Keywords: seismic impacts, seismic monitoring, state planning, the Arctic seismic network, transport routes, the Arctic.

Reference

1. Rogozhin E.A., Antonovskaya G.N., Kapustyan N.K. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya sistemy seysmicheskogo monitoringa Arktiki*. Moscow, *Voprosy inzhenernoy seysmologii*. 2015. T. 42, No. 1. Pp. 58-69/
2. Rogozhin E.A., Kapustyan N.K., Antonovskaya G.N., Konechnaya Ya.V. *Novaya karta seysmichnosti evropeyskogo sektora Rossiyskoy Arktiki*. Moscow. *Geotektonika*. 2016. Pp. 19-25.

3. *Stroitel'stvo na vechnoy merzlate - potentsial v dva trilliona dollarov SShA*. [Elektronnyy resurs] *Rezhim dostupa: https://ardexpert.ru/article/3903* (Data obrashcheniya 14.01.2018).
4. Antonovskaya G.N., Kovalev S.M., Konechnaya Ya.V., Smirnov V.N., Danilov A.V. *Punkt vremennykh seysmicheskikh nablyudeny na arkh. Severnaya Zemlya. Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seysmologicheskikh dannykh. Mater. XII Mezhdunarodnoy seysmologicheskoy shkoly /*

Otv. redaktor A.A. Malovichko. Obninsk: FITs EGS RAN. 2017. Pp. 24-28.

5. Malovichko A.A. *Sistemy seysmologicheskikh i geofizicheskikh nablyudeny v Rossii. Razvitie i novye vozmozhnosti. Razvitie sistem seysmologicheskogo i geofizicheskogo monitoringa prirodnykh i tekhnogennykh protsessov na territorii Severnoy Evrazii. Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii, posvyashchennoy 50-letiyu otkrytiya Tsentral'noy geofizicheskoy observatorii v g. Obninske*. Otv. red. A.A. Malovichko. Obninsk: FITs EGS RAN. 2017. Pp. 3.