



УДК 550.34

Пример комплексной оценки сейсмической опасности участка строительства аэропорта «Горячинск»

В. И. Джурик (dzhurik@crust.irk.ru)
С. П. Серебренников (serebr@crust.irk.ru)
Л. А. Усынин (usynin@crust.irk.ru)
Е. В. Брыжак (bryzhak@crust.irk.ru)
А. Ю. Ескин (eskin@crust.irk.ru)
А. Н. Шагун (shagun@crust.irk.ru)

Аннотация. Рассмотрена сейсмическая опасность территории строительства аэропорта «Горячинск». Установлены зоны возникновения очагов землетрясений (ВОЗ). Проведены расчеты по данным инструментальных методов сейсмического микрорайонирования. Выполнены теоретические расчеты сейсмических воздействий для типовых грунтовых условий, и дана их оценка по максимальным ускорениям для прогнозируемых сильных землетрясений.

Ключевые слова: аэропорт, сейсмическая опасность, сейсмическая жесткость, акселерограммы, сейсмические модели, максимальные ускорения, резонансные частоты, исходный сигнал.

Сейсмичность, сеймотектоника и инженерно-геологические условия района исследований

Участок строительства находится в Прибайкальском районе Республики Бурятия, в нескольких километрах от с. Горячинск. Исследуемая территория расположена в пределах Байкальской области интенсивного горообразования и характеризуется высоким уровнем сейсмической опасности.

Из разрывных нарушений, представленных на рис. 1, основными, ответственными за высокий сейсмический потенциал территории, являются Морской и Ольхонский разломы. Они характеризуются большой протяженностью (около 180 км каждый), сбросовыми механизмами очага, высокой сейсмической активностью и являются основой одноименных зон ВОЗ с возможной магнитудой до 7,5 [3–6].

Карта эпицентров землетрясений территории вокруг площадки строительства (радиус 100–150 км) представлена сейсмическими событиями с 8-го энергетического класса (рис. 1). На карте представлены сейсмические события, зарегистрированные сетью сейсмических станций с 1962 г., и землетрясения более раннего периода [9].

Анализ макросейсмических данных о сейсмических событиях в пределах рассматриваемой площади (исторический и инструментальный периоды) и расчетные данные о возможном транзитном сейсмическом сотрясении из расположенных на исследуемой площади зон ВОЗ позволяют сделать вывод: площадка предполагаемого строительства находится в зоне интенсивности сотрясений в 9 баллов.

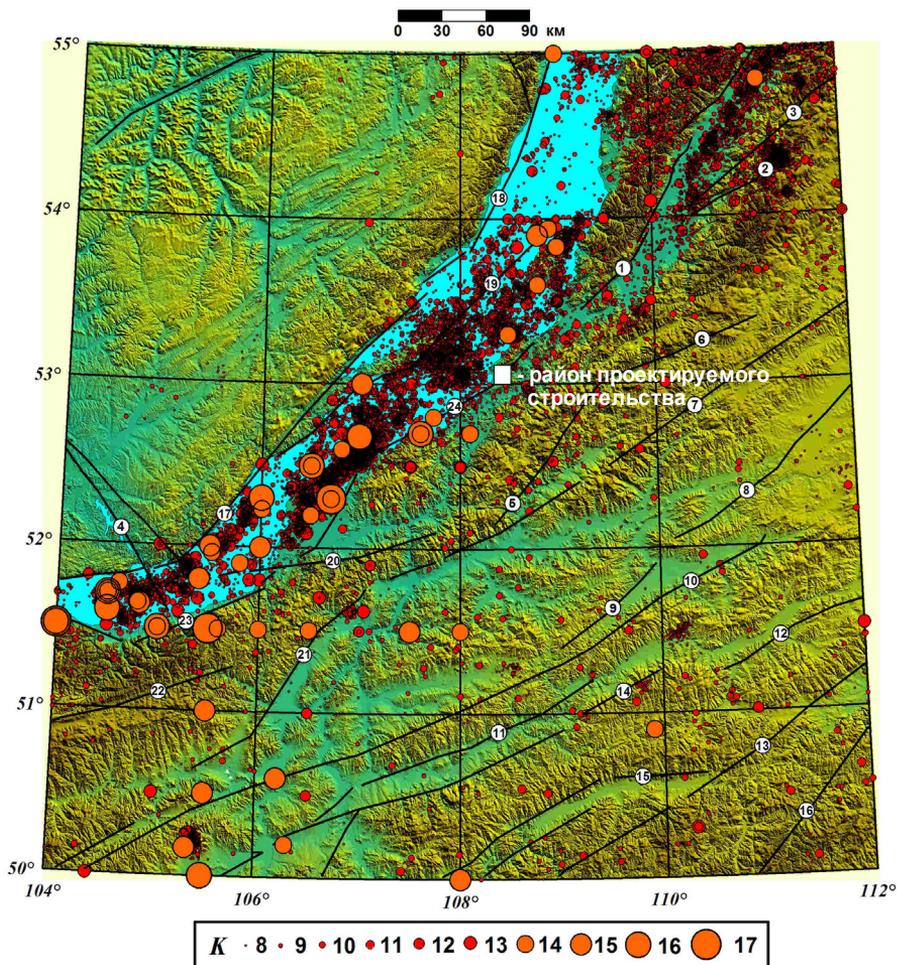


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений и разломов.

Тектонические нарушения (разломы): Баргузинский (1), Улан-Бургинский (2), Гаргинский (3), Ангарский (4), Хаимский (5), Туркинский (6), Удинский (7), Еравнинский (8), Тугнуйский (9), Кижингский (10), Хилокский (11), Арахлейский (12), Лево-Ингодинский (13), Селенга-Хилокский (14), Право-Чикойский (15), Чикой-Ингодинский (16), Приморский (17), Северо-Байкальский (18), Ольхонский (19), Селенгинский (20), Хамбинский (21), Темниковский (22), Черского-Дельтовый (23), Морской (24) [10]

Согласно проведенным исследованиям и нормативным документам [14] исходная сейсмичность территории оценивается по карте общего сейсмического районирования ОСР-97 [4] А – в 8 баллов (рис. 2), по карте В – в 9 баллов и по карте С – в 10 баллов. Карты общего сейсмического районирования ОСР-97-А, ОСР-97-В и ОСР-97-С позволяют оценивать степень сейсмической опасности для объектов разных сроков службы и категорий ответственности на трех уровнях вероятности – 90 %, 95 % и 99 % непревышения (или 10 %, 5 % и 1 % возможного превышения) в течение 50 лет расчетной сейсмической интенсивности сотрясений в баллах, указанных на каждой из этих карт для средних грунтовых условий регионов. При этом карта ОСР-97-А соответствует 500-летнему, карта ОСР-97-В – 1000-летнему, а карта ОСР-97-С – 5000-летнему периоду повторяемости таких сотрясений.

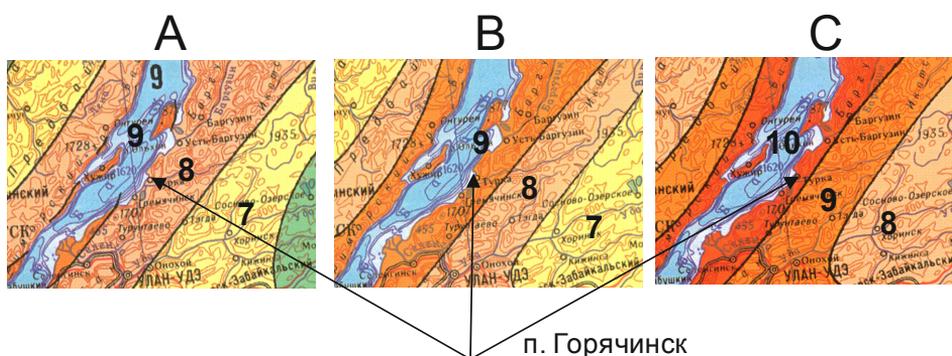


Рис. 2. Фрагмент карты ОСР-97

Для оценки сейсмической опасности территории строительства в зависимости от инженерно-геологических и тектонических условий участка строительства необходимы сведения о количественной оценке параметров движений грунта на случай сильных землетрясений. Это прежде всего сейсмическая опасность в баллах, максимальные ускорения колебаний грунтов, преобладающий период колебаний на случай сильного землетрясения и резонансные частоты рыхлой толщи.

Для этих целей использовались инженерно-геологические, гидрогеологические сведения, данные инструментальных измерений и реализация теоретических расчетов. Исходные материалы для решения поставленных задач были получены путем постановки сейсморазведочных, сейсмометрических и электроразведочных измерений [8]. Использовались методы сейсмических жесткостей [7], микросейсм [1; 17], вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) [16] и расчетные методы сейсмического микрорайонирования [12]. Схема работ, проведенных на площадке исследований, приведена на рис. 3.

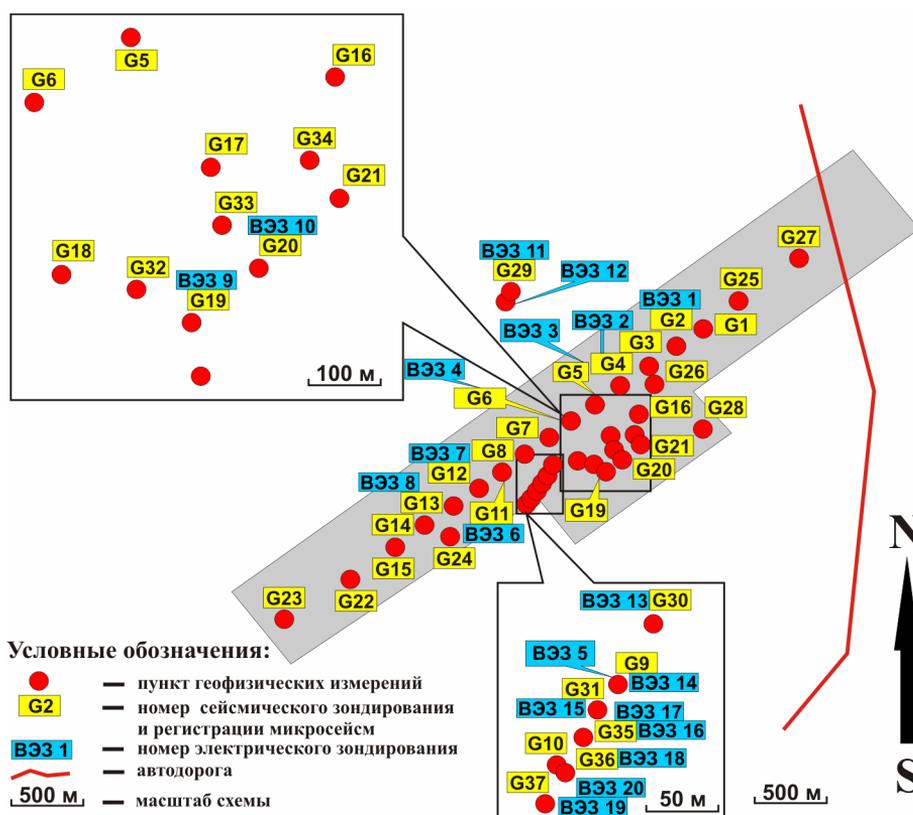


Рис. 3. Схема работ на площадке исследований

Для анализа данных инструментальных методов мы приводим ниже сведения о геологическом строении исследуемой площадки. В состав инженерно-геологического комплекса проектируемого строительства входят рыхлые и скальные грунты. Рыхлые грунты: песок желтовато-серый средней крупности, средней плотности, с гравием и галькой до 10–15 %, маловлажный, плотность грунта в естественном залегании $1,81 \text{ г/см}^3$, ниже уровня грунтовых вод – водонасыщенный, до глубины 0,8 м – сыпучий, плотностью $2,02 \text{ г/см}^3$; песок серый гравелистый, средней плотности, маловлажный, плотностью $1,77 \text{ г/см}^3$; ниже уровня грунтовых вод – водонасыщенный, плотностью $2,04 \text{ г/см}^3$; щебенисто-глыбовый грунт с песчаным заполнителем, маловлажный, плотностью $2,16 \text{ г/см}^3$, ниже уровня грунтовых вод – водонасыщенный, плотностью $2,20 \text{ г/см}^3$.

Скальные грунты представлены трещиноватыми кварц-пироксеновыми сланцами, гнейсами и кристаллическими известняками, их объемная масса в зависимости от их сохранности от $2,5$ до $2,7 \text{ т/м}^3$.

Грунты с поверхности перекрыты почвенно-растительным слоем с корнями деревьев и торфом, хорошо разложившимся, водонасыщенным.

Грунтовые воды представлены водоносным горизонтом, который приурочен к озерным пескам и болотным отложениям. Установившийся уровень грунтовых вод зафиксирован на глубине до 4,4 м. Расчетный уровень грунтовых вод, с учетом сезонных колебаний, следует принять на 0,5 м выше зафиксированного.

Результаты электроразведочных измерений

Практика использования электроразведки при сейсмическом микро-районировании показала, что посредством этого метода можно решать не только инженерно-геологические задачи, но и дополнить данные о сейсмических свойствах грунтов, которые получают методами сейсмических жесткостей и микросейсм. На площадке исследований было выполнено 20 вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) (рис. 3) и 2 ВЭЗ на скальных грунтах для определения глубины их залегания и степени трещиноватости.

Для выполнения электроразведочных работ была выбрана симметричная установка АМNB, разности которой выбирались в зависимости от условий заземления и рельефа местности и были приняты как $AB/2 - 220$ м, что при благоприятных геоэлектрических условиях даёт возможность изучать распределение электрических сопротивлений на глубину 70 м и более.

Проведена качественная и количественная интерпретация кривых ВЭЗ. Разрезы кажущихся сопротивлений строились в зависимости от половины питающей линии, так как предполагается возможное проникновение электрического тока на эту глубину. Они наглядно показывают расположение слоев с различными значениями кажущихся сопротивлений (ρ_k) с глубиной. Количественная интерпретация кривых ВЭЗ по профилям представлена в виде геоэлектрических разрезов распределения удельного электрического сопротивления на различных глубинах.

В процессе исследований получены следующие результаты:

– *профиль ПР1* (рис. 4, обозначение А) характеризует разрез кажущихся сопротивлений и геоэлектрический разрез по оси взлетно-посадочной полосы аэропорта длиной свыше двух километров;

– *профиль ПР2* (рис. 4, обозначение Б) проходит по оси площадки под строительство зданий и сооружений непосредственно самого аэропорта и технических служб, его длина составляет 150 м;

– *профиль ПР4* (рис. 5) проложен вкрест предполагаемой ослабленной зоны и пересекает р. Таловку, данный профиль длиной 250 м выполнен для изучения и определения зоны разлома.

По ПР1 отчетливо выделяются три горизонта. Первый слой имеет сопротивление порядка 6000–15 000 Ом·м, что связано с сезонным промерзанием грунта и его минералогическим составом. Мощность горизонта варьирует в пределах 1–2,5 м. Мощность второго слоя колеблется в пределах 40–65 м, а сопротивление грунта – от 400 до 1000 Ом·м. Это щебенисто-глибовый грунт с песчаным заполнителем, маловлажный, водонасыщен-

ный, по-видимому, включает зону выветрелых коренных пород. Третий горизонт соответствует скальным менее трещиноватым грунтам, который также может быть заполнен водой, поскольку его удельное электрическое сопротивление (УЭС) составляет 1500–4500 Ом·м.

Аналогичная картина строения наблюдается и на разрезах профиля ПР2. Однако здесь хорошо выделяется уровень грунтовых вод, находящийся на глубине 3,5–3,9 м. Мощность второго горизонта 30–35 м, УЭС – 200–400 Ом·м, что соответствует в основном щебенисто-глибовому грунту с песчаным наполнителем. Относительно-сохранные коренные породы характеризуются трещиноватым строением и имеют УЭС порядка 1 500–2500 Ом·м.

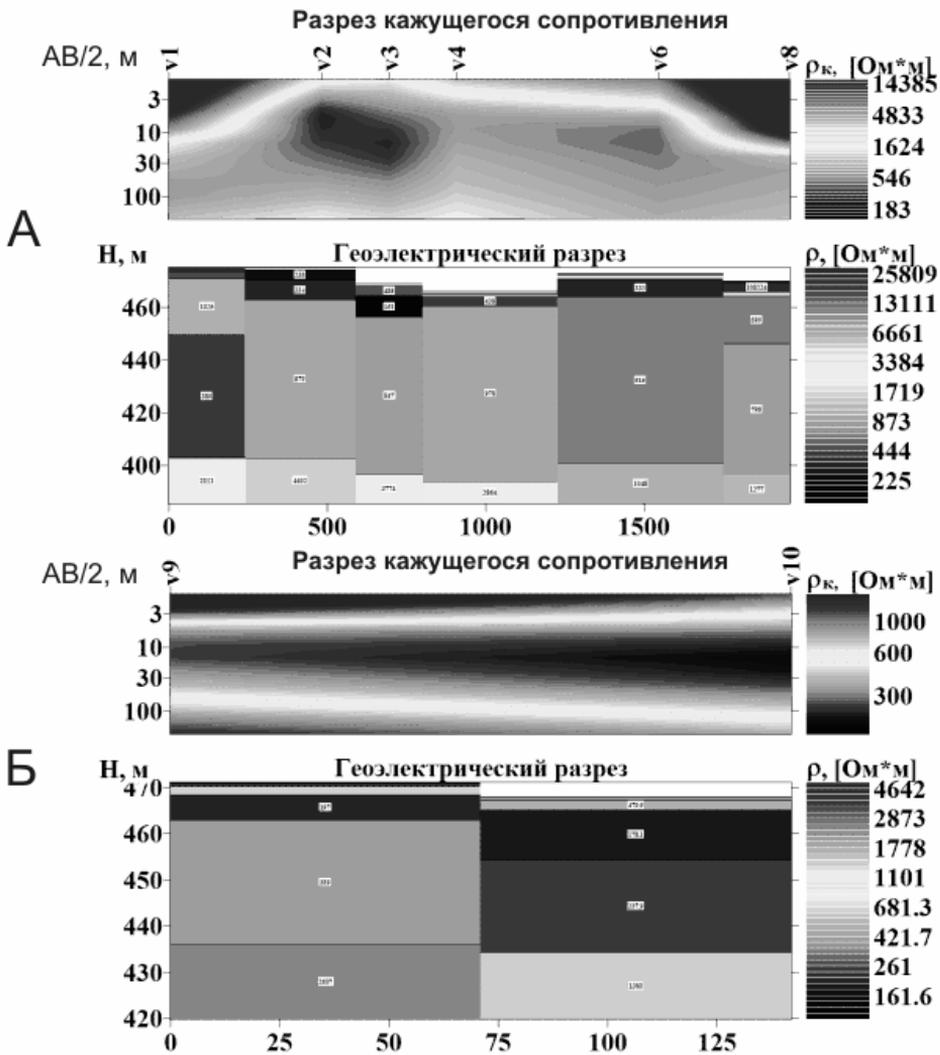


Рис. 4. Результаты интерпретации ВЭЗ по профилям ПР1 и ПР2

Особое внимание было уделено изучению участка перехода взлетной полосы через р. Таловку, где предполагалась разломная зона. На этом участке вкрест простирания оси данной зоны проложен профиль (ПР4).

Как видно из рис. 5, нахождение в данном месте тектонического нарушения не подтвердилось. Река Таловка протекает между профилями 15 и 16 ВЭЗ. На геоэлектрическом разрезе выделяется пять слоев. В районе русла реки сопротивление грунтов ниже, чем на её берегах и составляет 500–700 Ом·м. Более плотные коренные породы имеют сопротивление, как и на всей площадке аэропорта, 2500–3500 Ом·м. Глубина их залегания соответствует отмеченной выше по ПР1 (рис. 4, обозначение А), т. е. они находятся на глубине 60–70 м. На геоэлектрическом разрезе профиля ПР4, кроме описанных выше слоёв, выделен ещё слой с сопротивлением грунта 1400–2000 Ом·м и мощностью 5–15 м, который, вероятно, можно охарактеризовать как песок серый гравелистый, средней плотности.

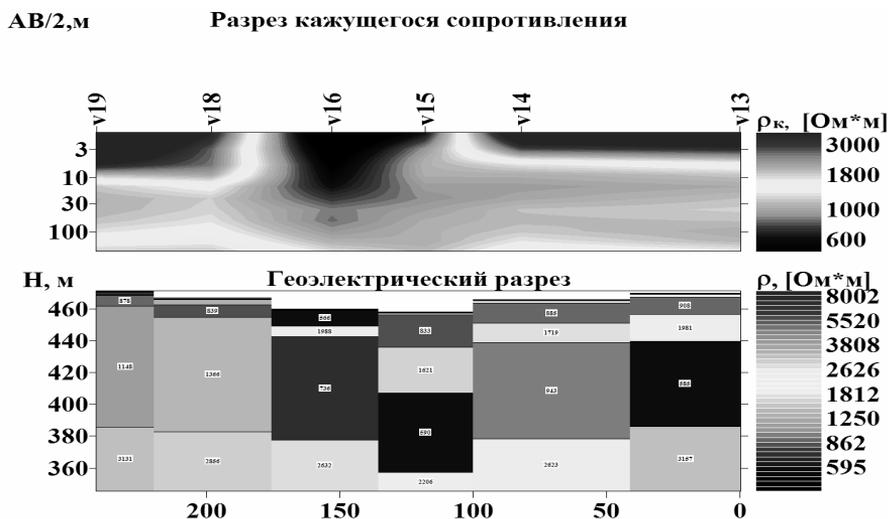


Рис. 5. Результаты интерпретации ВЭЗ по профилю ПР4, расположенному вкрест простирания предполагаемого разлома

Для полноценного изучения электрических свойств грунтов были выполнены измерения на обводненных и скальных грунтах (вне исследуемой площадки), которые дополнили полученную информацию о строении обследуемой территории. Результаты интерпретации по профилям ПР3 и ПР5 даются в описательном порядке. Они подтвердили основные свойства грунтов, слагающих территорию реконструкции аэропорта. То есть обводненные грунты имеют сопротивление в среднем 250–650 Ом·м, мощность около 40–60 м, а коренные породы – УЭС от 2500 до 4500 Ом·м. Кроме того, выделяется слой серого гравелистого песка средней плотности, необводненного. Он характеризуется повышенным сопротивлением по отношению к вмещающим породам, 1500–2000 Ом·м, и мощностью 10–15 м.

Можно отметить, что УЭС зависит от состава и состояния грунтов. При переходе от скальных к рыхлым неводонасыщенным и далее к водонасыщенным грунтам этот параметр плавно уменьшается. В дальнейшем данные электроразведки использовались для обоснования построения расчетных сейсмических моделей, поскольку данные бурения и сейсморазведки изучают только верхнюю часть разреза от 5 до 15 м, а нам необходимо построение сейсмических моделей до эталонных и относительно сохранных коренных пород.

Оценка сейсмической опасности участка строительства при помощи метода сейсмических жесткостей

Одним из важных параметров для реализации необходимых расчетов являются скорости сейсмических волн в слоях грунтов до относительно сохранных коренных «эталонных» пород. Сейсморазведочные наблюдения [15] проводились методом преломленных волн (КМПВ) при использовании компьютеризированной станции «Лакколит 24-М2». Измерения проводились на самой площадке исследования и за ее пределами на участках близкого залегания скальных пород и водонасыщенных участках.

Характерные сейсмограммы, зарегистрированные на разных по составу и состоянию грунтах, представлены на рис. 7. Из рисунков видно, что по исходным данным в большинстве случаев выделение полезных Р и SH не вызывало затруднений. Их значения сверялись по ранее установленным связям между V_p и V_s для аналогичных по составу и состоянию грунтов [8].

Практически повсеместно до глубины 10–15 м выделяются два, три или четыре слоя. По мощности и скоростям в верхней зоне разреза они достаточно выдержаны. Ниже 10 м различия могут быть значительными. В верхнем слое сезонного промерзания (до 2–3 м) скорости продольных сейсмических волн имеют низкие значения для исследуемого участка, от 280 до 500–600 м/с. При проведении дальнейших расчетов сейсмической опасности в баллах почвенно-растительный слой с относительно низкими значениями скоростей до 2–3 м нами исключался, а скорости в нем брались соответствующими нижележащему слою. Это связано с тем, что при строительстве этот слой будет заменяться более плотными рыхлыми грунтами. Таким образом, первый слой до глубины залегания уровня грунтовых вод (УГВ) будет иметь диапазон V_p от 600 до 900–1200 м/с, отношение скоростей V_p / V_s меняется от 2 до 2,2. Второй слой водонасыщенных грунтов представлен в основном щебенисто-глыбовым грунтом с песчаным заполнителем; V_p меняется от 1500 до 1900 м/с, V_p / V_s – от 2,3 до 3,5. Такое отношение скоростей в водонасыщенных грунтах, по-видимому, связано с преобладанием в них крупных фракций. Третий слой соответствует сильно трещиноватым коренным породам со значениями скоростей V_p от 1900 до 2200 м/с. Ниже в коренных породах скорости быстро увеличиваются до 2400–2500 м/с и далее до 2800 м/с. Важно, что это характерно для нашего участка с любой глубины залегания коренных пород, исследованных нами.

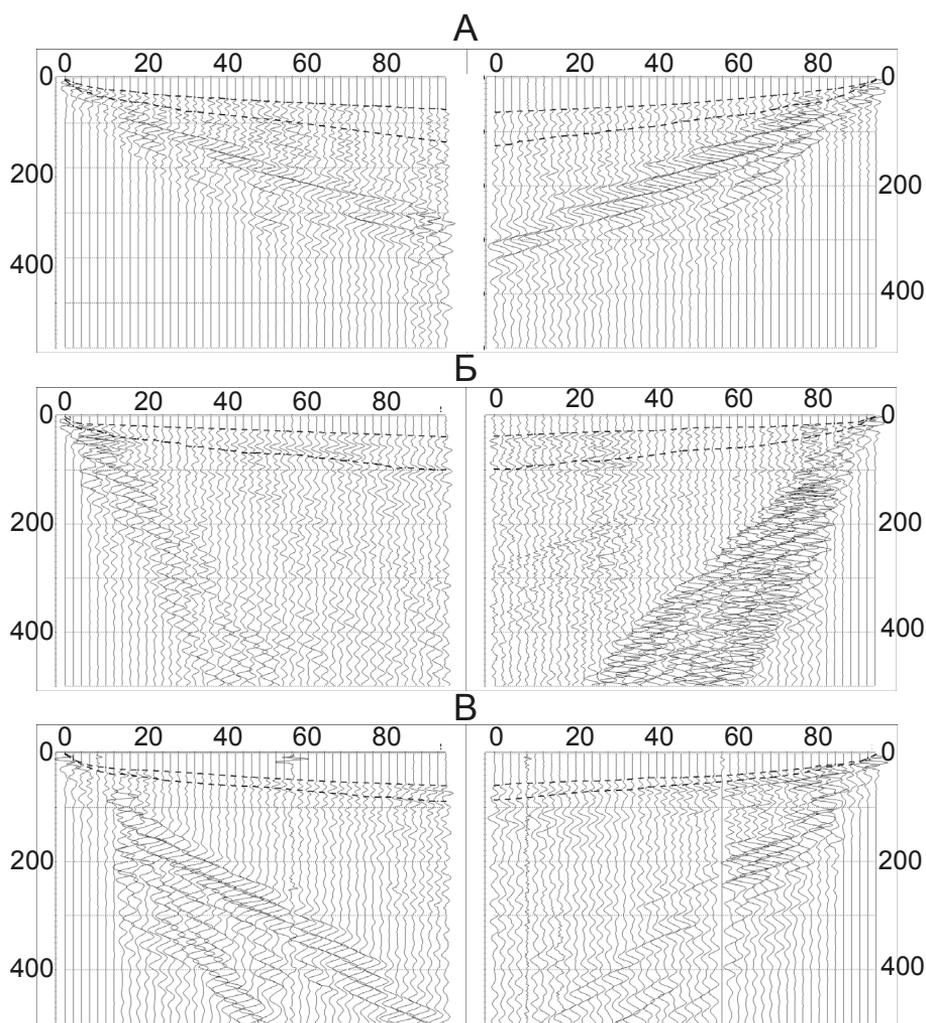


Рис. 6. Примеры сейсмограмм, зарегистрированных на разных по составу и состоянию грунтах: А – средние грунтовые условия, Б – обводненные грунты, В – скальные породы

Значения скоростей «эталона», необходимого при расчетах, выбирались с учетом данных измерений скоростей в коренных породах, выполненных ранее в пределах Баргузинского хребта в верхней 10–20-метровой зоне разреза [11]. Поэтому вполне обоснованно за «эталон» принимаются наиболее вероятные значения скоростей в трещиноватых коренных породах со значениями V_p , равными 2100 м/с и V_s – 1100 м/с. Наиболее вероятная объемная масса этих грунтов, по инженерно-геологическим данным, близка к 2,5 т/м³.

Таким образом, для проведения расчетов сейсмической опасности по методу сейсмических жесткостей, построения необходимого набора сейсмических моделей и реализации расчетных методов были получены все необходимые данные о составе грунтов, скоростях распространения в них сейсмических волн, мощности рыхлых отложений и объемной массе эталонных и исследуемых грунтов. Наклон рельефа значительно меньше 15° , поэтому при расчетах сейсмической балльности поправки за счет этого параметра не вводились.

Приращения балльности по отношению к эталонному грунту (коренные породы) по методу сейсмических жесткостей лежат в пределах от 0,7 до 1,3 баллов. Сейсмическая опасность всей площадки строительства аэропорта меняется от 8,7 до 9,3 баллов.

Оценка сейсмической опасности участка строительства при помощи метода микросейсм

Регистрация микросейсм проводилась по трассе взлетно-посадочной полосы и на участках зданий и сооружений аэропорта. Пункты регистрации микросейсм и сейсморазведочных измерений совпадают, как и их номера (см. рис. 3).

Для наглядности и подтверждения полученных результатов по методу микросейсм представлены записи микросейсм и их амплитудно-частотные характеристики для различных грунтовых условий района строительства (рис. 7).

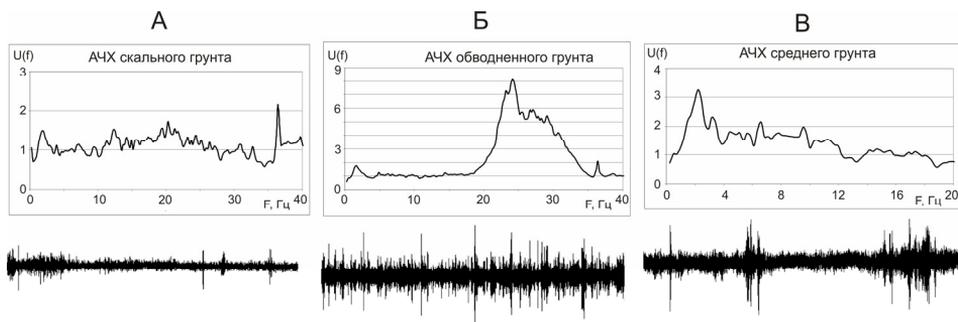


Рис. 7. АЧХ и акселерограммы на разных по составу и состоянию грунтах. А – скальные грунты, Б – рыхлые водонасыщенные, В – «средние» грунты площадки исследований

Полученный достаточно большой набор экспериментальных данных по методу микросейсм и относительная однородность исследуемой территории по инженерно-геологическим данным позволяют вычислить среднюю частотную характеристику (рис. 8). Осреднение проведено по значениям максимальных амплитуд на фиксированных частотах.

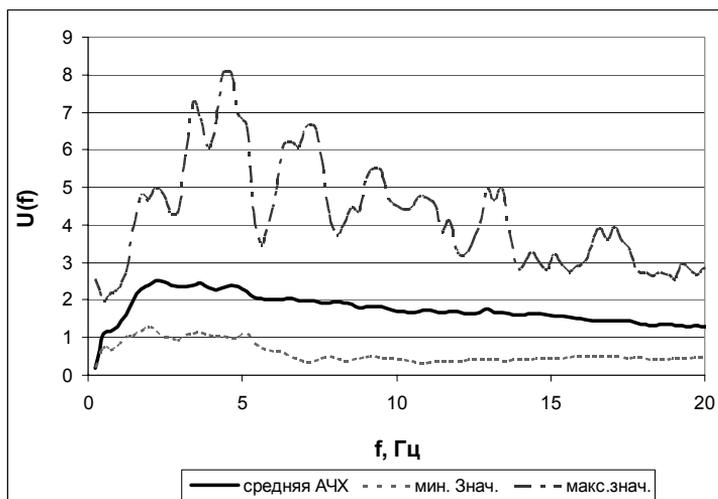


Рис. 8. Средняя амплитудно-частотная характеристика грунтов в пунктах наблюдения на исследуемой площадке

Основные максимумы средней частотной характеристики находятся в интервале 2,2–2,6 и приходятся на диапазон частот от 2 до 5 Гц.

В итоге отмечается, что амплитудно-частотные характеристики в пунктах проведения измерений на площадке строительства характеризуют степень увеличения интенсивности колебаний грунтов в зависимости от частоты. Уровни передаточных функций (АЧХ) непосредственно использовались для расчета приращений балльности для каждого пункта регистрации микросейсм.

Таким образом, оценка сейсмической опасности площадки с помощью метода микросейсм приводит к следующим результатам. Приращение сейсмической опасности по отношению к эталонным коренным породам меняется от 0,3 до 1,3 баллов. Сейсмическая опасность площадки по этому методу меняется от 8,3 до 9,3 баллов, что хорошо коррелирует с данными метода сейсмических жесткостей.

Прогноз параметров колебаний грунтов на случай сильных землетрясений

Для комплексной оценки инженерно-сейсмологических условий площадки строительства аэропорта, кроме сейсмической опасности в баллах, необходимы сведения о количественной оценке параметров движений грунта на случай сильных землетрясений. Это прежде всего максимальные ускорения колебаний грунтов, преобладающий период колебаний на случай сильного землетрясения и резонансные частоты рыхлой толщи. В свою очередь, для их получения необходимо задание исходного сигнала (с учетом зон ВОЗ и параметров очага), построение необходимого числа сейсмических моделей и проведение теоретических расчетов. Последние даются

для обобщенных сейсмических моделей, которые являются наиболее вероятными для грунтовых условий территории строительства. Для расчетов акселерограмм, спектральных характеристик, спектров ускорений использовался набор методов [2; 8; 15].

Исходный сигнал для вероятного сильного землетрясения определяется на основе количественных геолого-геофизических и сейсмологических данных. Расчетная модель – на основе инженерно-геологических данных, прямых измерений и обобщенных данных о скоростях сейсмических волн на площадке строительства.

Исходная акселерограмма сформирована по методике, изложенной в работах [12; 15], при использовании местных землетрясений из каталога Байкальской сейсмологической экспедиции (рис. 9).

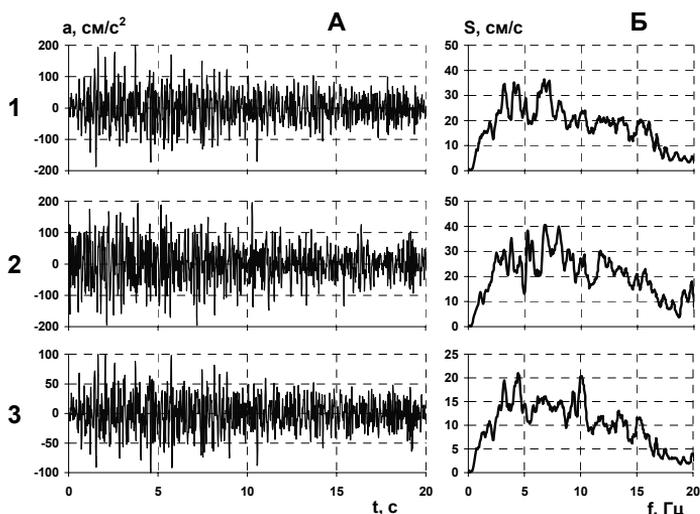


Рис. 9. Сформированный сейсмический сигнал для коренных «эталонных» грунтов для территории аэропорта с принятой исходной сейсмичностью, равной 9 баллам. А – исходные акселерограммы, Б – соответствующие им амплитудные спектры Фурье: 1 – для NS, 2 – для EW, 3 – для Z компоненты

Основные параметры сформированных акселерограмм следующие: продолжительность колебаний около 20 с на уровне 0,3 от максимума, интервал частот спектра на уровне 0,5 от максимума для горизонтальных компонент (NS и EW) меняется от 1,9 до 16,1 Гц; на уровне 0,7 от максимума – от 2,49 до 11,8. Максимальные значения основных максимумов спектра приходятся на частоты 8,74 и 6,79 Гц, а их значения достигают 36,5 и 40,8 см/с. Максимальное значение ускорений достигает 196–200 см/см². Для вертикальной компоненты отмеченные выше величины распределяются следующим образом: интервал частот спектра на уровне 0,5 от максимума для горизонтальных компонент (NS и EW) меняется от 1,9 до 15,4 Гц; на уровне 0,7 от максимума – от 3,03 до 10,4 Гц. Максимальное значение основного максимума спектра приходится на частоту 4,44 Гц, а его максимум равен 21 см/с. Максимальное значение ускорений составляет 100 см/см².

Таким образом, параметры синтезированной акселерограммы (по частотному составу) отвечают как близким, так и относительно далеким сильным землетрясениям, т. е. по частотному составу учтены основные особенности зон ВОЗ для площадки аэропорта.

Для проведения теоретических расчетов нами было построено 5 типовых моделей, которые характеризуются мощностью слоев, скоростями распространения продольных и поперечных волн и плотностью грунтов (табл.). Для этого использовались данные о скоростях распространения сейсмических волн и данные электроразведки.

Таблица

Параметры расчетных сейсмических моделей для обобщенных типовых разрезов

№ модели, типовой разрез	h (м)	V_p (м/с)	V_s (м/с)	ρ (т/м ³)	A_{\max} для NS (Z) (см/с ²) I (баллы)
Эталонная сейсмогрунтовая модель					
№ 1 Скальные породы	10	2100	1100	2,5	211 (107) 8
	10	2400	1290	2,6	
	∞	2800	1540	2,7	
Площадки строительства аэропорта					
№ 2	3	700	350	1,9	359 (183) 9
	7	1600	660	2,0	
	10	2100	1100	2,5	
	10	2400	1290	2,6	
	∞	2800	1540	2,7	
№ 3	3	700	350	1,9	421 (231) 9
	7	1600	660	2,0	
	10	1800	750	2,1	
	10	2100	1100	2,5	
	10	2400	1290	2,6	
∞	2800	1540	2,7		
№ 4	3	700	350	1,9	453 (242) 9
	7	1600	660	2,0	
	10	1800	750	2,1	
	20	1900	810	2,1	
	10	2100	1100	2,5	
	10	2400	1290	2,6	
∞	2800	1540	2,7		
№ 5	3	700	350	1,9	409 (232) 9
	7	1600	660	2,0	
	10	1800	750	2,1	
	20	1900	810	2,1	
	30	2000	870	2,2	
	10	2100	1100	2,5	
	10	2400	1290	2,6	
∞	2800	1540	2,7		

Модель № 1 соответствует эталонным «коренным» породам для района строительства. Максимальные значения ускорений коренных пород для горизонтальной компоненты не превышают 211 см/с^2 , а для вертикальной – 107 см/с^2 . Это, согласно шкале балльности, соответствует эталонному сейсмическому воздействию для скальных пород района, равному 8 баллам. Спектры ускорений (рис. 10 и 11: модель № 1, обозначение Б) имеют максимумы (на уровне 0,7) в интервале частот 2,93–8,2 Гц, их основные максимумы достигают значений $38,5 \text{ см/с}$ – для максимальной горизонтальной компоненты (NS) и $22,1 \text{ см/с}$ для вертикальной компоненты (Z).

Модели № 2–5 соответствуют различной мощности рыхлых, разрушенных и трещиноватых коренных пород, в большинстве случаев водонасыщенных, для исследуемой площадки. Подстилаются они коренными породами с «эталонными» значениями скоростей (модель № 1). Ускорение колебаний для грунтов, представленных этими моделями, меняются от 359 до 453 см/с^2 для NS и от 183 до 242 см/с^2 для Z компонент. Максимумы спектров лежат в интервале $58,4$ – $90,4 \text{ см/с}$ – NS и 41 – $52,9 \text{ см/с}$ – Z (рис. 10, 11). Ширина спектра на уровне 0,7 от максимума находится в интервале частот от 2,98 до 15,3 Гц.

Таким образом, сейсмическая опасность площадки строительства аэропорта с помощью расчетного метода равна 9 баллам.

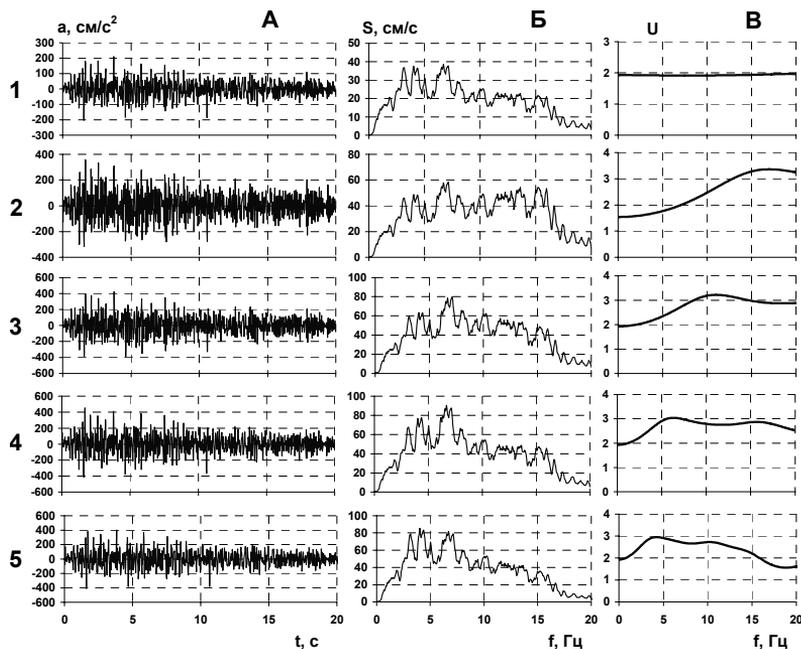


Рис. 10. А – акселерограммы, Б – их амплитудные спектры, В – частотные характеристики рыхлых слоев (для горизонтальной компоненты; слева указаны номера моделей)

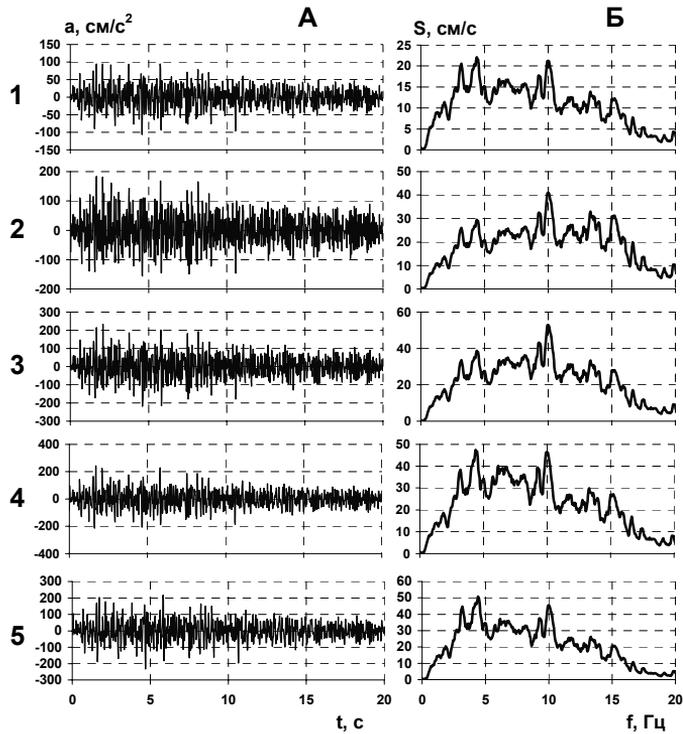


Рис. 11. А – акселерограммы, Б – их амплитудные спектры (для вертикальной компоненты; слева указаны номера моделей)

Заключение

Для участка проектируемого строительства комплекса аэропорта проведен краткий анализ материалов по разломной тектонике, сейсмологии и сейсмогеологии. Представлена карта эпицентров местных землетрясений с учетом данных ISCCD, и уточнены параметры сильных землетрясений из зон ВОЗ. По данным экспериментальных методов получены все необходимые сведения о состоянии грунтов, мощности рыхлых отложений, основных сейсмических параметрах эталонных и исследуемых грунтов, скоростях распространения в них сейсмических волн и распределению уровня микросейсм по площади. Были проведены необходимые расчеты параметров колебаний грунтов в основании сооружений на случай сильных землетрясений.

При использовании комплекса экспериментальных и расчетных методов сейсмическая опасность участка строительства в пределах реконструкции аэропорта Горячинск вполне обоснованно оценивается как относительно однородная в сейсмическом отношении в 9 баллов. Максимальные ускорения колебаний для различных участков на территории строительства для прогнозируемых сильных землетрясений могут меняться от 359 до 453 cm/s^2 для NS и от 183 до 242 cm/s^2 для Z компонент. Максимумы спектров лежат в интервале 58,4–90,4 cm/s – NS и 41–52,9 cm/s – Z. Ширина

спектра на уровне 0,7 от максимума находится в интервале частот от 2,98 до 15,3 Гц. Резонансные свойства рыхлых грунтов, лежащих на коренных породах, ожидаются на частотах от 4,25 до 17 Гц, на этих частотах возможно ожидать наибольших увеличений исходных сигналов.

Проведенные расчеты сейсмических воздействий выполнены в предположении упругого деформирования. Величины остаточных деформаций могут определяться по шкалам балльности с учетом расчетных значений максимальных ускорений.

Список литературы

1. Закономерности формирования микросейсмического поля под влиянием локальных геологических неоднородностей и зондирование среды с помощью микросейсм / А. В. Горбатиков [и др.] // Физика Земли. – 2008. – № 1. – С. 57–67.
2. К районированию сейсмической опасности территории г. Иркутска / В. И. Джурик [и др.] // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2011. – Т. 4, № 2. – С. 61–82.
3. Карта новейшей тектоники юга Восточной Сибири / ред. А. Г., Золотарев, П. М. Хренов. – М. : Мингео СССР, 1981. – 160 с.
4. Карта общего сейсмического районирования территории Российской Федерации. Масштаб 1:8 000 000. – М. : М-во науки и технологий РФ, ОИФЗ им. О. Ю. Шмидта, 1999. – 57 с.
5. Карта разломов юга Восточной Сибири / ред. П. М. Хренов. – М. : Мингео СССР, 1988.
6. Литосфера Центральной Азии – Новосибирск : Наука, 1996. – 238 с.
7. Медведев С. В. Инженерная сейсмология / С. В. Медведев. – М. : Госстройиздат, 1962. – 260 с.
8. Методическое руководство по сейсмическому микрорайонированию. – М. : Наука, 1988 – 300 с.
9. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / отв. ред. Н. В. Шебалин, Н. В. Кондорская. – М. : Наука, 1977. – 535 с.
10. Основные разломы Байкальской рифтовой зоны и формируемая ими сейсмичность / В. М. Демьянович [и др.] // Проблемы современной сейсмогеологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии : материалы совещания. – Иркутск : ИЗК СО РАН, 2007. – С. 108–116.
11. Павлов О. В. Сейсмическая опасность мерзлых грунтов. – Новосибирск: Наука, 1987–230с.
12. Ратникова Л. И. Расчет колебаний на свободной поверхности во внутренних точках горизонтально-слоистого поглощающего грунта. Сейсмическое микрорайонирование. – М. : Наука, 1984. – С. 116–121.
13. Сейсморазведка. Справочник геофизика. – М. : Недра, 1981 – 462 с.
14. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах. – М. : Госстрой России, 2001. – 45 с.
15. Формирование исходных акселерограмм сильных землетрясений для твердых грунтов территории г. Улаанбаатара / В. И. Джурик [и др.] // Труды V Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике – Иркутск, 2005 – С. 12–14.

16. Электроразведка. Справочник геофизика. – М. : Недра, 1982. – 480 с.
Malte I. Measurements used to map thickness of soft sediments / I. Malte, J. Wohlenberg
// Bull. Seism. Soc. – 1999. – Vol. 89, N 1. – P. 250–259.

An example of a complex assessment of the seismic hazard of a site of construction of the airport «Goryachinsk»

V. I. Dzhurik, S. P. Serebrennikov, L. A. Usynin, E. V. Bryzhak,
A. Y. Eskin, A. N. Shagun

Annotation. The paper is devoted to the seismic hazard of the territory of the construction of the airport «Goryachinsk». There were determination zones of earthquake sources. Calculations were performed by the data of instrumental methods of seismic microzonation. Provided theoretical calculations of seismic impacts for standard soil conditions and given their assessment of the maximum acceleration for the projection strong earthquakes.

Key words: airport, seismic hazard, seismic rigidity, accelerograms, seismic models, maximum acceleration, the resonant frequency, initial signal.

Джурик Василий Ионович
доктор геолого-минералогических наук
главный научный сотрудник
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
тел.: (3952) 42–75–10

Dzhurik Vasily Ionovich
Doctor of Geology and Mineralogy
chief research scientist
Institute of the Earth's crust SB RAS
128, Lermontova st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42–75–10

Серебренников Сергей Петрович
кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
тел.: (3952) 42–58–60

Serebrennikov Sergei Petrovich
Ph. D. in Geology and Mineralogy
senior research scientist
Institute of the Earth's crust SB RAS
128, Lermontova st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42–58–60

Усынин Леонид Андреевич
кандидат геолого-минералогических наук
младший научный сотрудник
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
тел.: (3952) 42–58–60

Usynin Leonid Andreevich
Ph. D. in Geology and Mineralogy
junior research scientist
Institute of the Earth's crust SB RAS
128, Lermontova st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42–58–60

Брыжак Евгений Вадимович
аспирант
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
тел.: (3952) 42–58–60

Bryzhak Evgenii Vadimovich
postgraduate student
Institute of the Earth's crust SB RAS
128, Lermontova st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42–58–60

Ескин Александр Юрьевич
кандидат геолого-минералогических наук
главный специалист
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
тел.: (3952) 42–58–60

Eskin Alexander Yuryevich
Ph. D. in Geology and Mineralogy
research scientist
Institute of the Earth's crust SB RAS
128, Lermontova st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42–58–60

Шагун Артем Николаевич
младший научный сотрудник
Институт земной коры СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128
тел.: (3952) 42–58–60

Shagun Artem Nikolaevich
junior research scientist
Institute of the Earth's crust SB RAS
128, Lermontova st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42–58–60