

коллизия представляется неустранимой, то наиболее простым способом учета фактически сложившегося положения вещей представляется осознание того обстоятельства, что в данном случае словосочетание «геофизические исследования» необходимо понимать как определенную условность и не придавать излишнего драматизма сложившейся ситуации. При этом термин «геофизические исследования в скважинах (ГИС)» по существу является самоопределяющим, то есть существенные признаки понятия содержатся в буквальном значении термина, поэтому требовать его неперенной расшифровки представляется излишним.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сохранов, Н.Н. Дискуссионный отклик на публикации Я.Н. Басина и А.М. Блюменцева по вопросам терминологии / Н.Н. Сохранов // НТВ «Каротажник». – Тверь, 1996. – Вып. 20. – С. 102–105.
2. Инструкция по проведению геофизических исследований в рудных скважинах / под ред. Е.П. Лемана, А.П. Савицкого. – СПб., 2000. – 414 с.

3. Геофизические методы исследования скважин : справочник геофизика / под ред. В.М. Запорожца. – М., 1983 – 591 с.
4. Зайченко, В.Ю. Основы терминологии прикладной геофизики / В.Ю. Зайченко // НТВ «Каротажник». – Тверь, 1996. – Вып. 20. – С. 88–101.
5. Блюменцев, А.М. Технологические стандарты в области геофизических исследований и работ в скважинах / А.М. Блюменцев, Н.Г. Козыряцкий // НТВ «Каротажник». – Тверь, 2001. – Вып. 84. – С. 145–148.
6. Мейер, В.А. Геофизические исследования скважин / В.А. Мейер. – Л., 1981. – 464 с.
7. Правила геофизических исследований и работ в нефтяных и газовых скважинах. – Тверь, 1999. – 67 с.
8. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований и работ на кабеле в нефтяных и газовых скважинах. – Тверь, 2001. – 270 с.
9. Философская энциклопедия. – Т.5. – М., 1970. – 740 с.
10. Аузин, А.А. Классификация электромагнитных методов скважинной геофизики / А.А. Аузин // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. – 1997. – № 3. – С. 147–150.
11. Тимофеев, В.А. Франко-русский геологический словарь / В.А. Тимофеев. – М., 1982. – 406 с.

УДК 550.344.52

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОЛНЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ В УСЛОВИЯХ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

А.И. Дубянский, С.В. Зайцев, К.Ю. Силкин

Воронежский государственный университет

Целью настоящей работы является изложение накопившихся в результате сейсмологических исследований на Воронежском кристаллическом массиве материалов об особенностях поверхностных волн, генерированных тектоническими и техногенными источниками. В работе рассмотрены волновые формы, некоторые особенности пространственного распределения скоростей, дана оценка влияния осадочного чехла на скорости волн Релея и Лява, приводятся региональные годографы этих волн.

Поверхностные волны релеевского типа (LR) являются наиболее устойчивой и характерной частью волнового поля, генерируемого как землетрясениями, так и промышленными взрывами. Их высокая интенсивность и низкая частота, лежащая, как правило, ниже частоты волн-помех различной природы, позволяет использовать эти волны наряду с другими для получения информации о местоположении очага. Волны Релея, распространяясь вдоль поверхности и проникая на сравнительно небольшую глубину, несут также информацию о скоростных свойствах среды. Все это делает необходимым изучение особенностей распространения поверхностных волн в условиях Воронежского кристаллического массива. Исходным материалом для этой цели послужили сейсмические записи, полученные в результате эксперимента, проведенного летом 2002 г. по изучению сейсмических особенностей промышленных взрывов, проводимых в Павловском карьере. Регистрация упругих волн осуществлялась четырьмя широкополосными станциями,

оснащенными сейсмометрами типа СМЗ-ОС, частотный диапазон которых – 0,02–10 Гц. Одна из станций (VRS), работающая в стационарном режиме, являлась базисной. Время регистрации сейсмических событий одной расстановкой составляло в среднем 12 дней. Получены записи нескольких взрывов в 15 пунктах регистрации, расположенных в различных азимутах и на различных удалениях от Павловского карьера (рис. 1). В период работы станций осуществлялась также запись сигналов от промышленных взрывов в Михайловском, Стойленском и Лебединском карьерах и регистрация телесеизмических событий тектонической природы. Кроме этого использовались данные, полученные на сейсмостанциях, работающих на территории Воронежской области в стационарном режиме. Практически на всех пунктах наблюдений получены качественные записи, позволяющие уверенно выделять поверхностные волны.

Различные источники сейсмических волн генерируют различные по характеру записи поверхностные

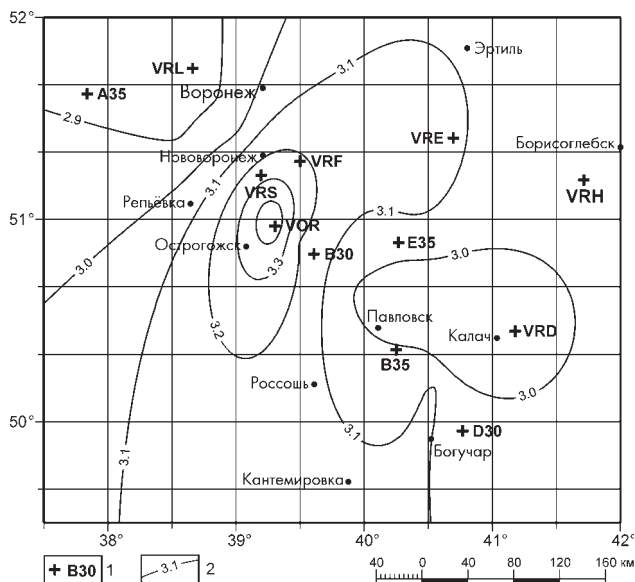


Рис. 1. Схемы расположения станций и распределения скорости волны Релея:

1 – пункты установки сейсмических станций,
2 – изолинии скорости волны Релея в км/с

волны типа L_R . От промышленных взрывов в Павловском карьере образуются релеевские волны, представленные короткими трехфазными импульсами с видимым периодом около двух секунд. Эти волны уверенно опознаются на открытых каналах по характерной низ-

кочастотной многофазной записи. Низкая частота волн L_R , даже при превосходящем уровне помех, позволяет уверенно их выделять с использованием соответствующих фильтров. Оптимальная полоса пропускания частотного фильтра составляет 0,3–0,8 Гц. Форма импульсов хорошо сохраняется при взрывах различной мощности и в различных частях карьера (рис. 2). Отмечается увеличение фаз волны L_R до 7–8 на записях в пункте VLR, что скорее всего связано с сейсмогеологическими условиями в точке установки станции, т.к. эта особенность повторяется при различных взрывах.

Записи волны L_R , полученные при взрывах в Михайловском карьере имеют более сложную картину (рис. 3). Они представлены двумя или тремя многофазными группами. Вступления этих волн определяются менее четко, чем при взрывах в Павловском карьере. Видимые периоды здесь также составляют порядка двух секунд.

Местные тектонические землетрясения, примером которых может служить событие, которое произошло 31 марта в районе г. Калач [1], генерируют релеевские волны динамически очень слабые (рис. 4). Их выделение возможно только при тщательном анализе поляризации сейсмических колебаний.

Следует отметить, что поверхностные волны Лява на записях карьерных взрывов и местных землетрясений не видны, вероятно, из-за их слабой интенсивности и совпадении области их регистрации с высокоамплитудными S-волнами.

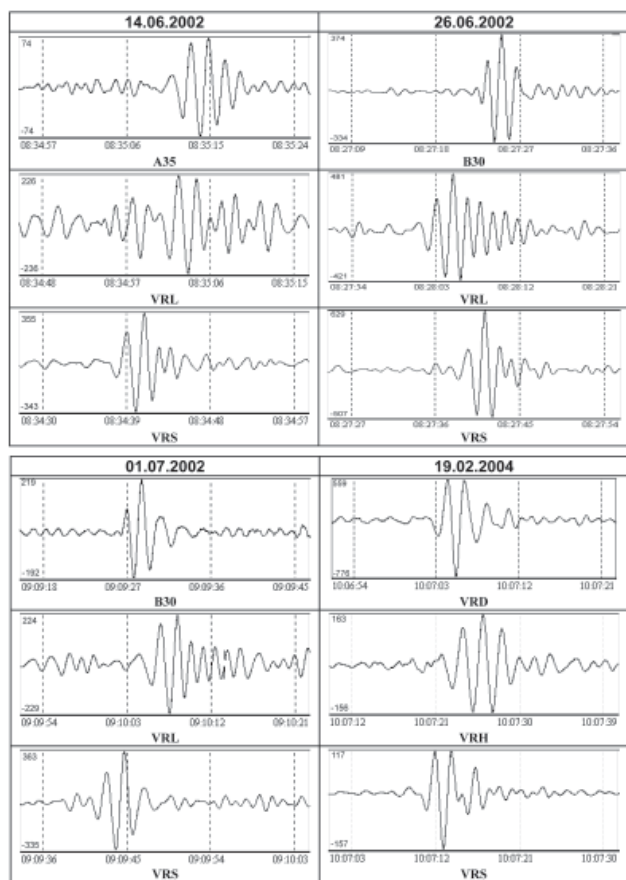


Рис. 2. Записи волны Релея различными станциями (канал Z) промышленных взрывов в Павловском карьере

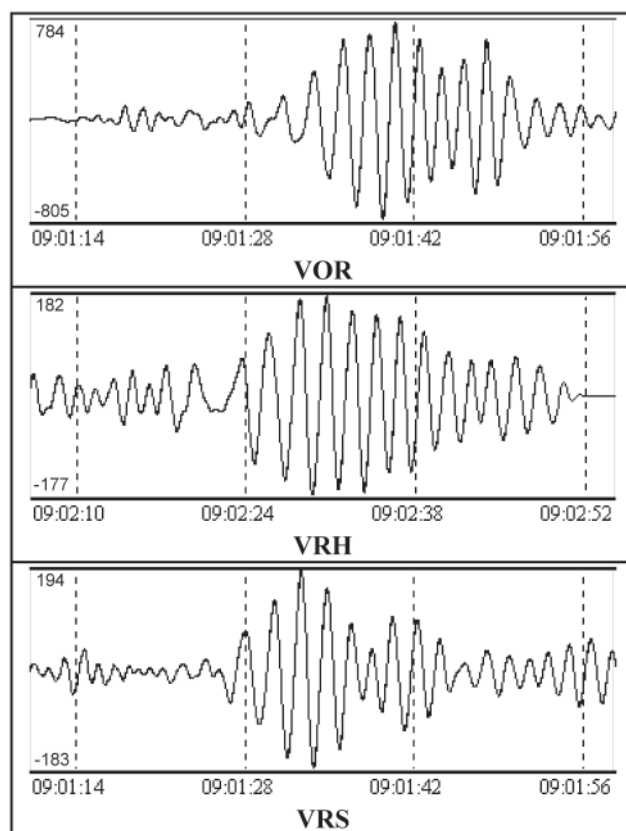


Рис. 3. Записи волны Релея различными станциями (канал Z) промышленного взрыва, произведенного 13.02.2004 в Михайловском карьере

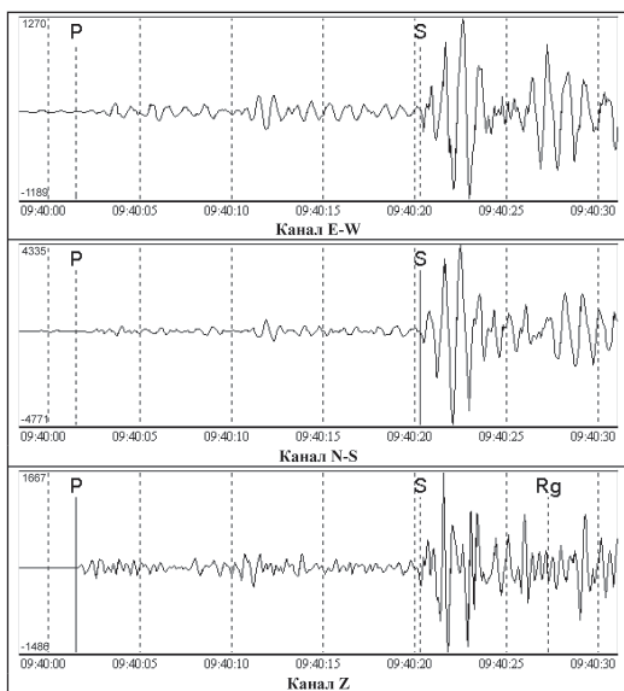


Рис. 4. Записи станцией VRS местного землетрясения, которое произошло 31.03.2000 в районе г. Калач

Свои особенности имеют волны Релея на записях телесеismicких событий. Волны L_R представлены сериями волновых пакетов, занимающих по времени от вступления до фаз Эйри интервал 85-170 с. В зависимости от глубины очага меняется соотношение амплитуд основной гармоники и обертонов. Вступления поверхностных волн удастся определить с невысокой точностью и главным образом по характеру поляризации колебаний. В начальной части записи регистрируются моды высших порядков, затем основная мода с четко выраженными фазами Эйри, после чего следует мода, характер которой имеет свои особенности для каждого землетрясения. Видимые периоды телесеismicких событий составляют 17–26 с. На рис. 5 в качестве примеров приведены записи волны Релея, генерированные землетрясениями на Филиппинских островах, в Японии и в Иране.

Записи карьерных взрывов в точках наблюдений, представленных на рис. 1, позволили определить времена прихода волн Релея в эти точки, которые затем использовались для построения обобщенного годографа и вычисления скорости. Благоприятная ситуация, при которой ряд пунктов наблюдений оказались практически в створе с карьером, позволила оценить скорости пробега волны L_R между станциями. Интервальные скорости оказались весьма различными от 2,94 до 3,51 км/с, что не связано с изменением эпицентральных расстояний. Установленные вариации скорости не являются также следствием неточности в определении времен прихода и расстояний, т.к., например, скорость в интервале VRL–карьер (3,03 км/с) равна средневзвешенной скорости между станциями (3,04 км/с), где за вес принято расстояние между пунктами наблюдений.

Для выяснения причин вариаций скоростей получена оценка влияния на величину скорости пород осадочного комплекса, которые в различных точках наблюдений имеют различную мощность от десятков до сотен метров. С этой целью использовалась скоростная модель, в которой мощность осадков менялась от 100 до 1000 м. Средние скорости P и S волн в осадочном чехле составляли соответственно 1800 и 900 м/с, что является типичным для условий ВКМ. Скорости этих волн в кристаллическом фундаменте, согласно региональной скоростной модели [2], брались равными 5,95 и 3,47 км/с. Расчеты показали, что в рамках принятой модели скорости поверхностных волн зависят главным образом от скоростей в верхней части кристаллического фундамента. Увеличение мощности низкоскоростных осадочных образований приводит к закономерному, но не значительному уменьшению скорости волн L_G и L_R , которое наиболее отчетливо проявляется для волны Релея. При увеличении мощности осадочного чехла на порядок (от 100 до 1000 м) скорость волны Релея уменьшается от 3,20 до 3,12 км/с, а волны Лява от 3,50 до 3,48 км/с. Такое изменение скоростей характерно для поверхностных волн от недалеких сейсмических событий (местные землетрясения, карьерные взрывы), частотный состав которых примерно 0,5 Гц. Для телесеismicких событий с частотой поверхностных волн 0,1–0,2 Гц влияние на их скорость осадочного чехла еще меньше. Таким образом реальное изменение мощности осадочного чехла не может существенно повлиять на величину скорости и, по-видимому, значения скоростей волны L_R определяются структурно-вещественными особенностями кристаллического фундамента. Если рассматривать в плане поле скоростей волн L_R , зарегистрированных при взрывах в карьере (рис. 1), то можно уверенно выделить зону повышенных и пониженных скоростей, которые

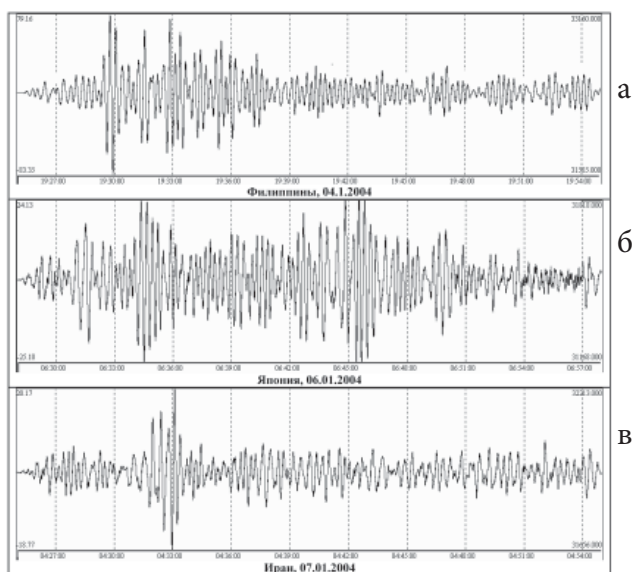


Рис. 5. Записи станцией VRS (канал Z) волны Релея от землетрясений на Филиппинах (а), в Японии (б) и Иране (в)

разделяются изолинией 3,0 км/с. Оконтуренная зона скоростей, превышающих 3,0 км/с, может интерпретироваться как структурно-формационная область, сформированная и, вероятно, находящаяся в настоящее время в режиме тектонического сжатия.

По записям телесейсмических событий так же были оценены групповые скорости волн Лява и Релея, зарегистрированных стационарной станцией VRS в период с 2001 по 2003 г. Распределения величин этих скоростей близки к нормальным (рис. 6). Диапазон изменения для волн L_G и L_R составляет соответственно 2,35–3,91 и 2,13–3,12 км/с.

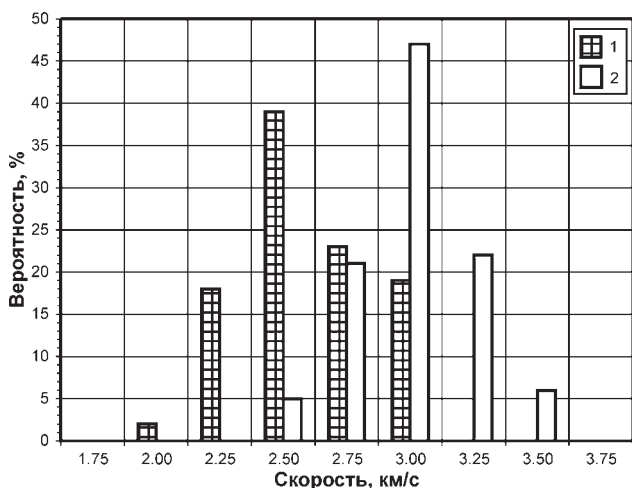


Рис. 6. Распределение скоростей волн Релея (1) и Лява (2), определенных по записям телесейсмических событий

При записи волнового поля при взрывах в Павловском карьере регистрировалась отметка момента взрыва, что позволило построить сводный годограф волны L_R , максимальная длина которого составила 215,5 км (рис. 7а). Наблюдаемые времена на этом годографе имеют очень незначительный разброс относительно аппроксимирующей прямой, что является следствием уверенного определения момента вступления поверхностной волны благодаря ее выдержанной форме записи и высокой интенсивности. Кажущаяся скорость, определенная по сводному годографу, составляет 3,04 км/с. Почти такое же значение скорости (3,035 км/с) получено по годографу, при построении которого использовались разность расстояний до эпицентра и разность времен вступления волны L_R между станциями, расположенными в узком секторе азимутов эпицентр-станция (рис. 7б). Разброс по времени на этом годографе также незначителен, максимальная длина – 118 км. Аналогично последнему был построен годограф L_R по записям промвзрывов в Михайловском карьере (рис. 7в). Дисперсия времен относительно осредняющей прямой более существенная, что связано с уменьшением отношения сигнал-помеха. Скорость, определенная по аппроксимирующему годографу, составляет 3,10 км/с. Максимальная длина годографа – 168 км.

С помощью записей волнового поля карьерных взрывов был построен региональный годограф волны Релея (рис. 8), уравнение которого характеризует пря-

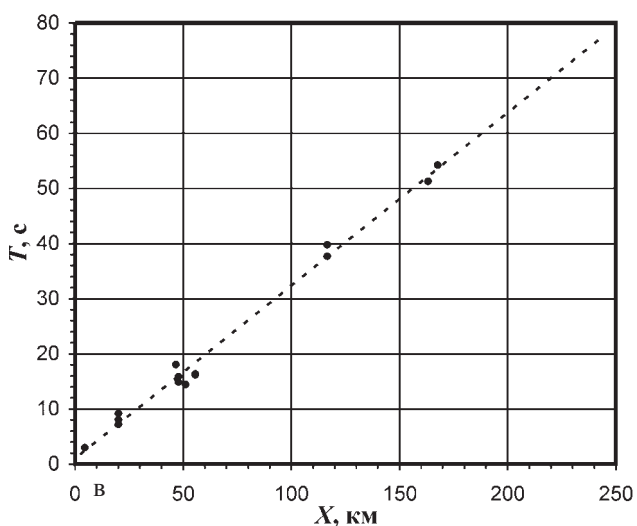
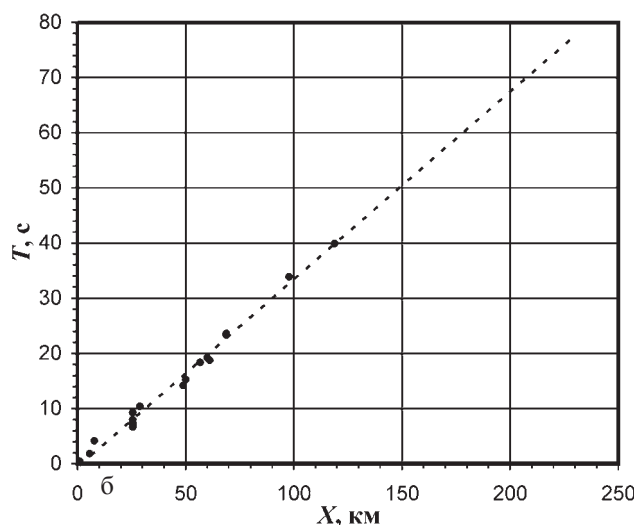
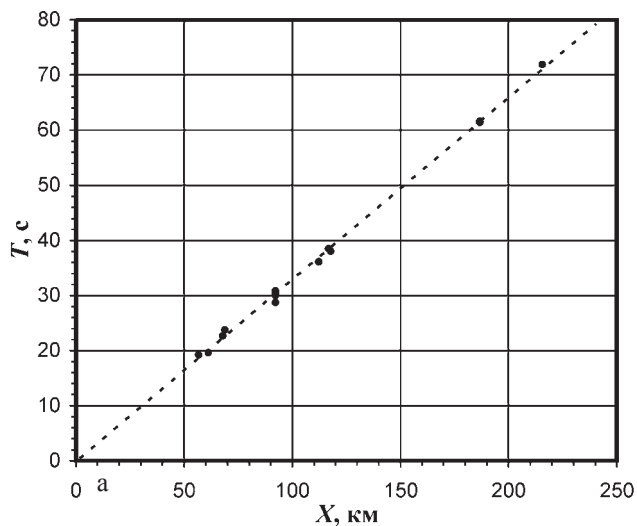


Рис. 7. Годографы волны Релея, построенные по записям карьерных взрывов в Павловском (а, б) и Михайловском (в) карьере

мую, исходящую из начала координат с кажущейся скоростью 3,05 км/с. Следует отметить, что скорость, определенная по годографу Джеффриса-Буллена [3], который используется при интерпретации сейсмологических данных, несколько меньше и составляет 3,0 км/с.

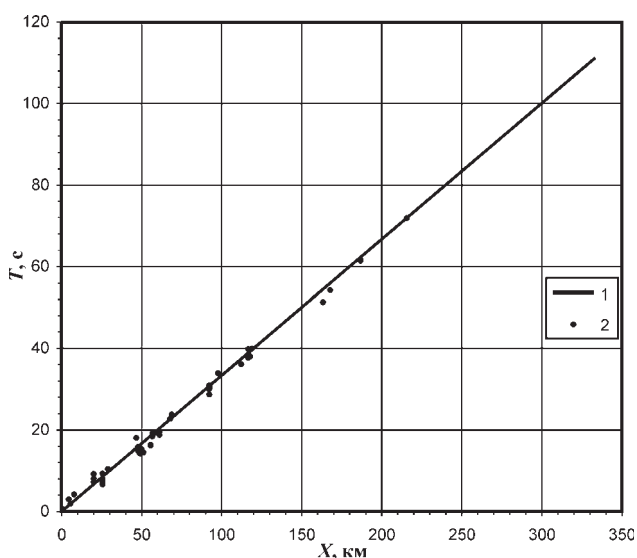


Рис. 8. Сравнение годографа Джеффриса-Буллена [3] волны Релея (1) и обобщенного годографа, построенного по экспериментальным данным для ВКМ (2)

Резюмируя изложенное, необходимо отметить, что особенности записи релеевских волн являются в условиях ВКМ надежным критерием распознавания техногенных и тектонических событий на сейсмических записях. Волны Релея, сгенерированные карьерными взрывами, несут информацию о скоростных неоднородностях верхней части кристаллического фундамента. Региональный годограф этой волны должен использоваться при обработке записей местных сейсмических событий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Надежка, Л.И. Землетрясение 31 марта 2000 г. в восточной части Воронежского кристаллического массива по данным группы сеймостанций «Воронеж» / Л.И. Надежка, И.Н. Сафронич, И.П. Габсатарова // Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных территорий : материалы междунар. конференции. – Воронеж, 2001. – С. 140–146.
2. Дубянский, А.И. Региональные скоростные модели ВКМ / А.И. Дубянский, К.Ю. Силкин // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. – Воронеж, 2003. – № 2. – С. 186–190.
3. Рихтер, Ч. Элементарная сейсмология / Ч. Рихтер. – М. : Изд-во иностранной литературы, 1963. – 670 с.

УДК 550.831

СВЯЗЬ ИЗМЕНЕНИЙ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ НА САРАТОВСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ С СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ АЛЬПИЙСКО-СРЕДИЗЕМНОМОРСКОГО ПОЯСА И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ЧАСТИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛИТЫ*

В.А. Огаджанов¹, Ю.П. Конценебин², А.А. Назаров¹, А.В. Огаджанов², С.В. Соломин¹

¹Нижне-Волжский научно-исследовательский институт геологии и геофизики.

²Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского

Ранее нами [9,12] было указано на связь сейсмической активности восточных частей Европейской плиты и Альпийско-Средиземноморского пояса. Геодинамика восточной части Альпийско-Средиземноморского сейсмогенного пояса обусловлена давлением Аравийской плиты. Откуда следует, что напряжения, формируемые в пределах юго-востока Европейской плиты и обусловленные ими изменения геофизических полей в свою очередь могут быть зависимы от геодинамики восточной части Альпийско-Средиземноморского пояса в целом (рис. 1).

Отражение динамики литосферы указанного региона в гравитационном поле наглядно иллюстрируется материалами наблюдений за изменениями силы тяжести (Δg) во времени на Саратовском геодинамическом

полигоне (СГП). На СГП наблюдения за изменениями гравитационного поля во времени проводятся начиная с 1999 года. Задача этих измерений – исследование связей временных вариаций гравитационного поля с сейсмичностью. С этой целью на пунктах полигона периодически проводятся измерения вертикальной составляющей поля Δg . Измерения ведутся на 8 пунктах полигона с периодичностью один раз в 3–6 месяцев. Наблюдения выполнялись гравиметром, имеющим инструментальную погрешность $\pm 0,08$ мГал и цену деления – 7,73 мГал / оборот. Опорная сеть отработана по системе замкнутых полигонов для учета смещения нуля-пункта гравиметра и оцифровки (передачи абсолютных значений силы тяжести) в условном уровне на пункты наблюдений. Учитывая достаточную стабильность нуля-пункта, позволяющую принять общий линейный нуль-пункт для всего рейса, была принята данная система наблюдений.

*Статья печатается в дискуссионном порядке.