

лем тектонических напряжений и, следовательно, о связи поверхностных деформаций с глубинными процессами. Выявляется также локальная перестройка фоновое поля внутри этих геоструктур и связанные с нею частные деформации.

Таким образом, новейшее тектоническое поле Восточно-Европейской платформы – многогранное, однако уточнение иерархии полей тектонических напряжений, выявление регионального фона и его составляющих – дело будущего.

Для нас было важным показать сложную взаимосвязь приповерхностной и глубинной геодинамической обстановки на Восточно-Европейской платформе, которую надо учитывать при любых геологических реконструкциях, в том числе и обращенных к практическим задачам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ананьин И.В., Лилиенберг Д.А., Щукин Ю.К. «Вопросы соотношения вертикальных движений морфоструктурных особенностей земной коры и сейсмичности (на примере Восточно-Европейской платформы)». В сборнике «Современные движения земной коры» № 5, Тарту, АН ЭССР, 1973. С. 605-616.
2. Бабак В.И. (главный редактор) «Карта геоморфолого-неотектонического районирования нечерноземной зоны РСФСР», масштаб 1:1 500 000, 1980, М.: ГУГКСССР, 1984.
3. Краснопецева Г.И., Щукин Ю.К. «Тектоническая делимость земной коры Восточно-Европейской платформы», Геофизика, 1996, № 4. С. 19-24.
4. Краснопецева Г.В., Щукин Ю.К. Объемная глубинная модель земной коры Восточно-Европейской платформы по данным региональных сейсмических исследований. Региональная геология и металлогения. С.-П., 2000, 10. С. 73-83.
5. В.И. Макаров Региональные особенности новейшей геодинамики платформенных областей в связи с оценкой их тектонической активности. «Недра Поволжья и Прикаспия». Спец выпуск № 13, 1996, с.49-60.

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЗЕМНОЙ КОРЕ

Юдахин Ф.Н.¹, Капустян Н.К.²

¹ Архангельский научный центр УрО РАН, г. Архангельск, arhsc@mail.ru

² Институт физики Земли РАН, г. Москва, nkapustian@gmail.com

Одной из заветных целей геолого-геофизических исследований является возможность искусственного воздействия на природные геодинамические процессы, протекающие в земной коре. На это направлена значительная часть фундаментальных исследований как глубинного строения, так и тектоники. Ярким примером может служить тот факт, что создание метода глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) и развертывание масштабных работ ГСЗ было спровоцировано разрушительным Ашхабадским землетрясением 1948 г. и поиском возможности прогнозирования сильных землетрясений.

Другой пример – детальные полигонные геолого-геофизические исследования высотных плотин ГЭС в сейсмоактивных районах также были вызваны катастрофами (плотины Койна, Кариба). По итогам работ был получен обширный и уникальный материал, причем, как правило, наиболее важные результаты сначала представлялись как «побочные». Наиболее важным для нас примером является вывод о связи сейсмического режима района водохранилища ГЭС с уровнем слабых механических вибраций, возникающих при сбросе воды [3]. Данный экспериментальный факт послужил основой для теоретических и модельных исследований свойств геологической среды, на основании которых была высказана идея о возможности «обмена» сильных землетрясений на рои более слабых путем искусственного воздействия на среду [4]. Одним из компонентов такого воздействия является создание повышенного уровня механических вибраций. Существенно, что воздействия – достаточно слабые, в пределах возможных вариаций уровня естественных микросейсм.

Ключевая роль слабых механических вибраций для процессов в земной коре отмечалась в ряде экспериментов, обобщение которых позволило нам составить сводку характерных величин деформаций и ускорений для процессов, влияющих на геодинамику (рис. 1), более полный обзор воздействий и их последствий приведен в монографии [1]. Анализ сводки показывает, что по величинам дополнительных деформаций, создаваемых в породах земной коры, искусственные техногенные и естественные воздействия сопоставимы, а по ускорениям – могут превосходить природные на 4 порядка. Существенно, что процессы, подобранные в сводке, являются экзогенными, но они провоцируют эндогенные изменения, что, в первую очередь, отражается в геодинамике.

В связи с этим, на практике возможна разработка определенных природоохранных мероприятий или превентивных мер для устранения опасных процессов. Для этого необходимо, прежде всего, установить соот-

ветствие между искусственным воздействием и наиболее вероятным откликом на него геологической среды. В подборке экспериментальных данных, приведенной в [1], эффект отклика среды на внешнее воздействие проявляется в основном на статистическом уровне, причем возможна комбинация ряда действующих факторов. Кроме того, для многих проявлений эффекта не ясны как механизмы, связывающие воздействие и отклик, так и энергетические соотношения (своеобразный коэффициент полезного действия – кпд воздействия). Для прояснения этих вопросов были предприняты специальные эксперименты на натурных моделях.

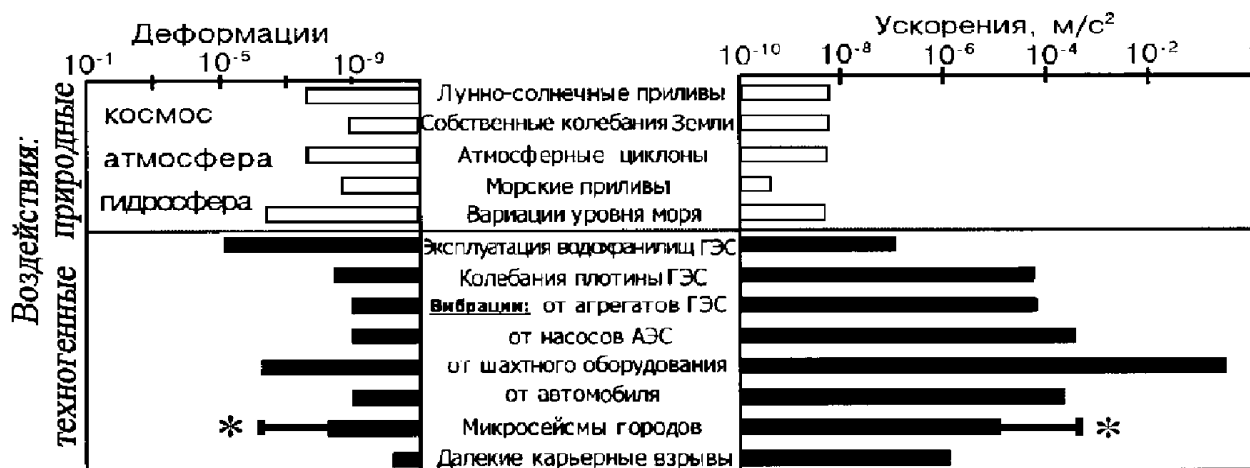


Рис. 1. Сводка параметров внешних воздействий на земную кору, звездочкой отмечены данные по колебаниям высотных зданий

Реакция блоковой среды на постоянные медленно меняющиеся квазигармонические внешние воздействия.

В качестве натурной модели сильно раздробленной блоковой геологической среды была выбрана морская дамба XIX в, соединяющая через пролив острова Б. Соловецкий и Б. Муксалму. Дамба представляет собой сооружение из крупных (1 м и более) валунов, соединенных песчано-глиняным наполнением. Длина дамбы – около 1 км, высота – 6-7 м, около 2 м находится под водой. Основным воздействием на коротких временных интервалах (в несколько часов) при штиле является действие морского прилива, оценка дает изменение боковой нагрузки на дамбу в 0,1 бар. Такой пригруз по величинам близок к воздействиям, способным вызывать изменения свойств среды и влиять на течение геодинамических процессов [1]. Немаловажно, что район дамбы практически необитаем, т.е. отсутствует техногенная компонента как в воздействии, так и в сейсмическом сигнале.

Сейсмометрические наблюдения (X, Y, Z) велись в центральной части дамбы в полосе частот до 70 Гц в течение 3 часов во время максимальной фазы прилива – подъема воды и начала ее спуска, т.е. моделировалось действие знакопеременной нагрузки. Существенно, что был практически полный штиль. При обработке анализировалась форма записи микросейсм, энергетические спектры и функции когерентности попарно для всех компонент, что позволяет выявлять события, скрытые фоном микросейсм [5]. Запись на X-компоненте (вкрест дамбы) существенно отличается от Y и Z, особенно по высокочастотной составляющей, представленной практически непрерывным потоком микроимпульсов с характерной частотой примерно 40 Гц. Следует отметить, что именно эта величина (40 Гц) приводится в работе [2] как собственная частота колебаний блоков с размером 1 м. Несколько более высокочастотное сейсмическое излучение (45-55 Гц) характерно только для X-компоненты, т.е. может быть обусловлено процессами, связанными с подъемом-спуском уровня воды, действующим именно в этом направлении. Были построены распределения значений когерентности (аналоги графика повторяемости) для интервалов подъема и спуска воды (рис. 2,б). Видно, что распределения различны, причем для сечения вкрест дамбы (Z-X), совпадающем с направлением воздействия, отличия большие, чем для пары Z-Y.

Проанализируем изменения во времени (временной ход) следующих величин: мощности микросейсм на X-компоненте, наиболее подверженной действию прилива, и функций когерентности для пар Z-X, Z-Y, т.е. для вертикальных сечений дамбы соответственно вкрест и вдоль нее (рис. 2,а). Оценки мощности и когерентности аналогичны величинам, применяемым для характеристик сейсмичности – выделившейся энергии и количества событий в единицу времени. Обращает внимание то, что кривые мощности и когерентности изменяются во времени как бы в «противофазе». Рассмотрим этот вопрос более детально. На участке I (соответствует наивысшей точке подъема прилива), интенсивность высокая при низкой когерентности, т.е. при малом со-

отношении сигнал-помеха для отдельных импульсов. Здесь высокая интенсивность достигается большим потоком относительно слабых импульсов. На участках II и IV (спуск воды) – ситуация обратная, тут отдельные импульсы относительно сильные, но их мало и они суммарно дают низкий уровень сейсмического излучения. На участке III наблюдается подъем интенсивности сопровождаемый спадом когерентности, т.е. увеличением числа слабых событий. По существу переход от участка II к III соответствует ситуации «обмена» более сильных сейсмических событий на серию слабых при изменении скорости нагружения.

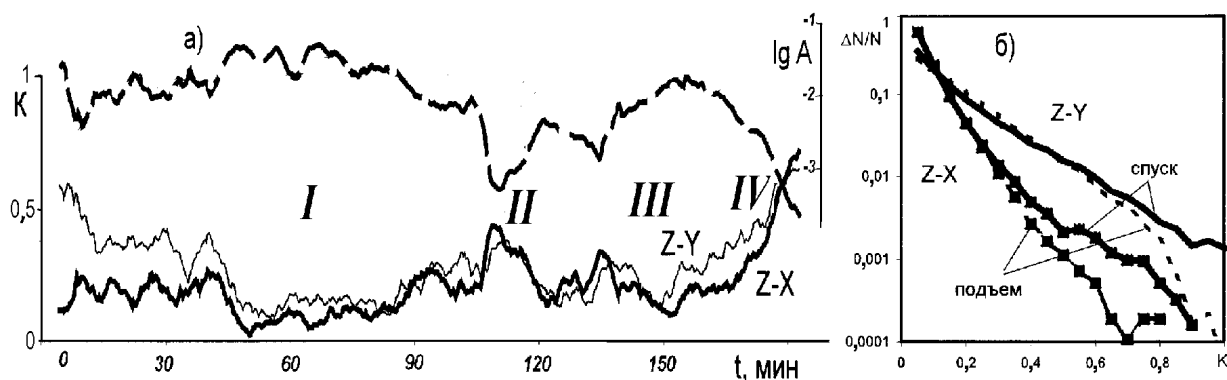


Рис. 2. Воздействие прилива на морскую дамбу:

а – временной ход мощности микросейсм $\lg A$ (пунктир) и когерентности K для сечений Z-X, Z-Y (сплошные линии), б – распределение значений когерентности K (аналог энергии) для микроимпульсов

Использование аппаратуры, калиброванной в абсолютных уровнях, позволяет оценить величину сбрасываемых напряжений ($\Delta\sigma$) при сейсмическом излучении. В соответствии с представлениями о процессах при стесненном повороте [2]: $\Delta\sigma = v_0 N G / L \pi f$. Подставляя экспериментальные значения: $v_0 \approx 100$ нм/с – максимальная амплитуда импульсов на частоте 40 Гц, $N=5$ – число фаз записи, $G = 2 \cdot 10^{10}$ Па (гранит), $L = 1$ м – характерный размер блока, $f = 40$ Гц, получаем $\Delta\sigma \approx 100$ Па $= 10^{-3}$ бар. Эта оценка хорошо согласуется с определениями сброса напряжений в ряде районов, в том числе южнее – для Ловозерского массива [2], что также указывает на достаточно хорошее подобие исследуемой натурной модели и истинной геодинамической ситуации. Кроме того, учитывая величину нагрузки (0,1 бар) можно оценить, что в высокочастотном сейсмическом излучении сбрасывается примерно 1% от действующей нагрузки, т.е., по существу, это оценка кпд преобразования внешнего воздействия в эндогенный отклик среды.

Реакция блоковой среды на ударные слабые внешние воздействия. Эксперимент проводился на озерной дамбе в центре Б.Соловецкого о-ва, также сложенной из местных валунов. С двух противоположных сторон дамба зажата берегами, т.е. она работает как своеобразная диафрагма. Длина дамбы составляет около 280 м, максимальная высота 3 м. Район этой дамбы также необитаем, т.е. техногенная компонента в сейсмическом сигнале отсутствует. Сейсмометрические наблюдения велись примерно 2 часа с помощью двух акселерометров CMG-5T, 3-компонентных, по горизонтали ориентированных вкrest и вдоль дамбы. Основным воздействием являлись удары кувалдой, одиночные и сериями, в связи с выполнением малоглубинной сейсморазведки вдоль дамбы.

Отмечено ряд закономерностей, которые можно проиллюстрировать временным ходом количественной характеристики – мощности потока импульсов (количества импульсов в единицу времени), построенных путем когерентно-временного анализа для сечений вкrest и вдоль дамбы (рис. 3) Мощность потока импульсов из среды меняется во времени и в разных направлениях. Сравнение уровней до воздействия и после окончания ударов показывает, что существует остаточный средний фон, причем в направлении вдоль дамбы превышает таковой в направлении вкrest нее. Вдоль дамбы сброс средой «запасенной» от ударов энергии в виде потока микроимпульсов происходит дольше. Наиболее вероятная причина состоит в том, что в поперечном направлении дамба не закреплена, в продольном – существует дополнительное поле внутренних напряжений из-за закрепления дамбы у берегов.

По сейсмическим записям можно грубо оценить кпд преобразования средой воздействий. После первой серии ударов (до отметки 1300 с от начала эксперимента) накопления энергии нет – вся закаченное воздействие проходит через среду без накопления. После последней серии – (после отметки 4300 с) присутствует остаточное повышенное излучение, его мощность примерно в 6 раз выше начального, а отношение остаточного эндогенного излучения и средней мощности удара (перешедшего в сейсмический сигнал) составляет 0.02-0.03 по разным направлениям, т.е. кпд – 2-3%.

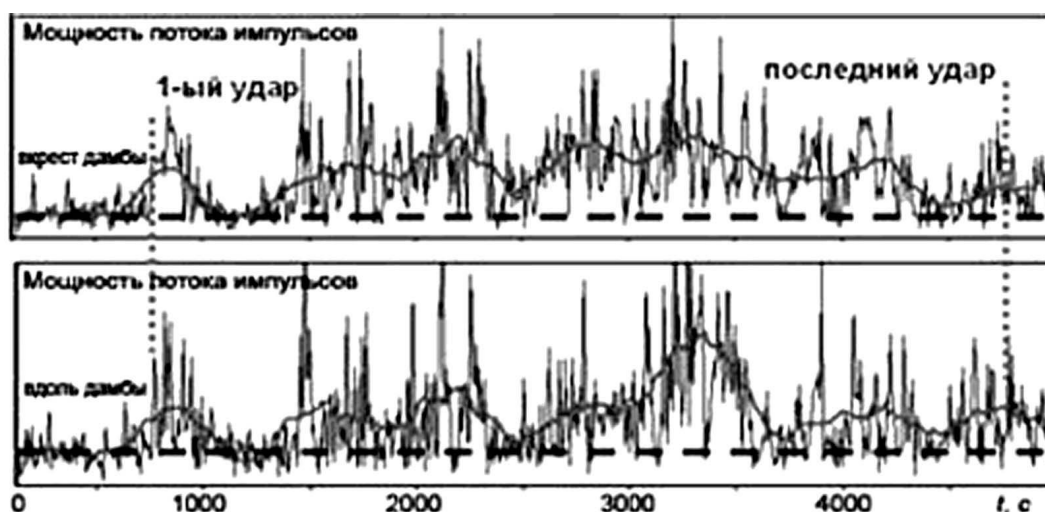


Рис. 3. Временной ход мощности потока микроимпульсов вдоль и вкрест озерной дамбы, пунктир – уровень до начала ударных воздействий

ВЫВОДЫ

Таким образом, на натурных моделях, свойства которых соответствуют природной блоковой среде, показано, что внешние, даже относительно слабые воздействия могут вызывать эндогенные процессы в среде, проявляющиеся в виде изменения параметров сейсмического излучения. Это, в свою очередь, является свидетельством активизации геодинамических процессов. Проведенные количественные оценки показывают необычайно высокое значение кпд преобразования внешних воздействий в эндогенные процессы, что является дополнительным свидетельством энергонасыщенности блоковой среды.

Представленные материалы позволяют подойти к количественным оценкам техногенного влияния внешних воздействий на геологическую среду. Применив масштабирование, можно попытаться оценить, какую опасность представляют зоны раздробленности и блокового строения для размещения производств с характерными вибрациями, передаваемыми в геологическую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капустян Н.К., Юдахин Ф.Н. Сейсмические исследования техногенных воздействий на земную кору и их последствий // Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 416 с.
2. Кочарян Г.Г., Спивак А.А. Динамика деформирования блочных массивов горных пород, под. ред. В.В.Адушкина, М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. 423 с.
3. Мирзоев К.М., Виноградов С.Д., Рузibaев З. Влияние микросейсм и вибраций на акустическую эмиссию // Изв. АН СССР, «Физика Земли», № 12, 1991. С. 69-72.
4. Мирзоев К.М., Негматуллаев С.Х., Дастури Т.Ю. Влияние механических вибраций на характер высвобождения сейсмической энергии в районе водохранилища Нурекской ГЭС // Сб. «Сейсмические исследования в районах строительства крупных водохранилищ Таджикистана» Душанбе, «Дониш», 1987. С.101-119.
5. Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К., Антоновская Г.Н., Шахова Е.В. Выявление слабоактивных разломов платформ с использованием наносейсмической технологии // ДАН, т. 405, № 4, 2005. С. 533-538.

РАЗРАБОТКА ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ СЕВЕРА УРАЛА И ПАЙ-ХОЯ

Юдин В.В.¹, Тимонин Н.И.²

¹ Крымское отделение Украинского государственного геологоразведочного института, г. Симферополь; imr@utel.net.ua

² Институт геологии Коми НЦ УО РАН, г. Сыктывкар; institute@geo.komisc.ru

Истории геологического развития Севера Урала и Пай-Хоя посвящено значительное число работ, но в основном до последнего времени они отражали различные представления научных коллективов и отдельных авторов, основанные на чисто блоковых и геосинклинальных представлениях о развитии земной коры. Вследствие этого, мнения об эволюции структур достаточно различаются и довольно противоречивы. В последние годы на осно-