

УДК 550.343

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КОСЕЙСМИЧЕСКОГО ОТКЛИКА РЕЖИМНОГО ИСТОЧНИКА

© 2004 г. П. В. Воропаев

*Камчатский государственный педагогический университет, Петропавловск-Камчатский, 683032
ул. Советская, д. 20, кв. 7, Воропаев П. В.; тел. 124676; e-mail: chicoli@mail.iks.ru*

По данным режимных наблюдений КОМСП ГС РАН в 1977 – 1995 гг. выявлено 44 косейсмических повышений дебита источника 1 Пиначевского, вызванных землетрясениями. Эти землетрясения рассматриваются в качестве зондирующих сигналов состояния водоносной системы источника с известными местоположением излучения сейсмических волн и энергетическими параметрами. Проводится анализ изменений косейсмического повышения дебита источника в зависимости от вариаций сейсмического режима Камчатки. Показано, что косейсмическое увеличение дебита источника относительно понижается в течение от 0.5 до 2.5 лет до усиления сейсмической активности на Камчатке.

С 1977 г. КОМСП ГС РАН проводит наблюдения на трех Пиначевских источниках и самоизливающейся скв. ГК-1 с целью поиска предвестников землетрясений (Копылова, 1992; Копылова и др., 1994; Хаткевич, 1994). Наблюдения включают замеры дебитов и температуры воды, отбор проб воды и газа для последующего определения в них широкого набора химических компонентов состава воды. Частота наблюдений составляет один раз в три дня. После землетрясений обнаружены закономерные изменения режима источников, проявляющиеся в увеличении дебитов, температуры воды, в увеличении концентраций компонентов химического состава воды и газа (Копылова, 1992; Копылова и др., 1994). Наиболее часто косейсмический отклик фиксируется в изменениях дебита источника 1.

В настоящей работе проводится изучение временных особенностей изменения косейсмического отклика источника 1. Такая задача представляется актуальной, т.к. отклик источника на землетрясения характеризует реакцию питающей его водоносной системы на сейсмические воздействия, как на естественные возмущения среды с известными местоположением излучателя сейсмических волн и энергетическими параметрами.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ

Источник 1 Пиначевский (53,28° с.ш., 158,40° в.д.) расположен у подножья экстрезивного массива «высота 202». Вода источника с температурой около 7° С вытекает из раздробленных андезито-дацитов экстрезивного массива в виде концентрированного выхода и собирается в искусственный бассейн с постоянным сливом. Дебит источника в течение всего времени

измерялся объемным способом на сливе с точностью определения разового замера 5%. При средней величине дебита 0.4 л/с точность измерения составляет ± 0.02 л/с. В режиме источника отсутствуют сезонные вариации в изменениях дебита и химического состава воды. Это указывает на хорошую изоляцию водоносной системы источника от влияния грунтовых вод.

На рис.1 приводятся графики изменения дебита, концентраций хлора и растворенного метана, характеризующие типичные изменения режима источника 1 в результате землетрясений. После землетрясения наблюдается резкое повышение дебита источника с последующим его понижением до фоновых величин. Кроме этого, происходит медленное увеличение концентрации хлора и других компонентов химического состава воды, достижение максимума и последующее длительное возвращение концентраций к фоновым величинам. Максимальные величины концентраций компонентов химического состава воды и газа, наблюдаются одновременно и значительно смещены по времени относительно максимальных величин дебита, которые фиксируются непосредственно после землетрясения. Эти особенности изменения режима источника указывают на ведущую роль изменения напряженно-деформированного состояния водоносной системы в формировании косейсмического повышения дебита. Поэтому максимальная амплитуда повышения дебита источника после землетрясения является наиболее представительной характеристикой косейсмического отклика водоносной системы, вызванной изменением ее напряженно-деформированного состояния в результате воздействия сейсмических волн.

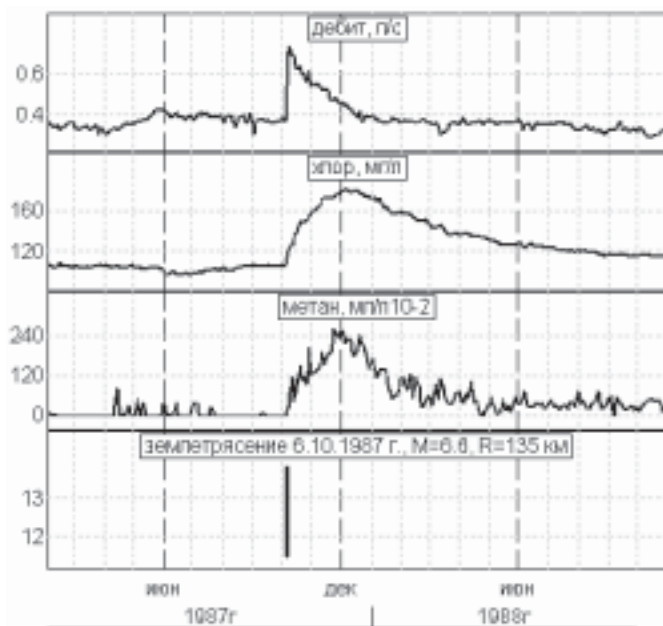


Рис. 1. Изменения параметров режима источника 1 в результате землетрясения 6.10.1987 г., M=6.6.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для анализа влияния сейсмичности на режим источника был сформирован каталог землетрясений 1977 – 1995 гг., включающий одиночные землетрясения, наиболее сильные землетрясения роев и главные события афтершоковых последовательностей. При создании каталога учитывались выявленные ранее закономерности появления косейсмического отклика источника 1 в зависимости от параметров землетрясений (Копылова и др., 1994). Для характеристики землетрясений и их воздействия на источник использовались следующие параметры: магнитуда M_s , энергетический класс K_s и гипоцентрального расстояние R, км.

Анализ вариаций параметров режима источника 1 в связи с землетрясениями проводился с использованием программы Диагноз [Копылова и др., 2003], позволяющей осуществлять детальный просмотр изменений наблюдаемых параметров в сопоставлении с точным временем возникновения землетрясений.

В качестве характеристики отклика источника на произошедшие землетрясения принималась величина повышения дебита между двумя последовательными замерами ΔQ , превышающая не менее чем полуторократную точность разового определения дебита, т.е. $\Delta Q \geq 0.03$ л/с. Величины ΔQ определялись как разность между величиной дебита до землетрясения и величиной дебита непосредственно после землетрясения. В течение 1977 – 1995 гг. обнаружены 44 землетрясения, после которых наблюдалось повышение дебита с амплитудой не менее 0.03 л/с.

По результатам проведенного анализа оценивалась среднестатистическая зависимость повышения дебита источника от энергетических параметров землетрясений (M, K) и их гипоцентрального расстояния R. Для этого использовалась эмпирическая зависимость вида

$$\Delta Q = AM(K) + B \lg R + C \quad (1)$$

где M – магнитуда землетрясений, K – энергетический класс землетрясений, R – гипоцентрального расстояние до источника в км; A, B, C – эмпирические коэффициенты. Такая зависимость соответствует общему виду макросейсмического уравнения, определяющего балльность в точке в зависимости от величины магнитуды и удаленности землетрясения (Шебалин, 1968).

Составленные 44 уравнения связи между величинами R, M (K), ΔQ решались методом наименьших квадратов для определения коэффициентов A, B и C. В результате были определены коэффициенты: A=0,096; B= -0,3; C= -0,49 – для уравнений, решаемых относительно энергетического класса, и A=0,096; B= -0,345; C=0,34 – для уравнений, решаемых относительно магнитуды.

Окончательно полученные зависимости имеют вид:

$$\Delta Q = 0,096K - 0,3 \lg(R) - 0,49 \quad (2)$$

$$\Delta Q = 0,096M - 0,345 \lg(R) + 0,34 \quad (3)$$

Учитывая, что минимальный косейсмический отклик дебита источника ΔQ составляет 0.03 л/с, в соответствии с (2) и (3) определена нижняя граница облака распределения землетрясений в координатах M(K) – R. Выше этой границы располагаются землетрясения, для которых ожидается косейсмическое повышение дебита. При $\Delta Q = 0.03$ л/с и в соответствии с (2) и (3) области землетрясений, вызывающих косейсмическое повышение дебита определяются выражениям

$$K \geq 3.125 \lg R + 4.79 \quad (4)$$

$$M \geq 3.59 \lg R - 3.23 \quad (5)$$

На основе зависимостей (2) и (3) рассчитывались ожидаемые повышения дебита источника для каждого из 44-х землетрясений в соответствии с их энергетическими параметрами и гипоцентрального расстоянием.

На рис. 2 ромбами показано соотношение между наблюдаемыми величинами повышения дебита dQ_n и расчетными величинами повышения дебита dQ_p в

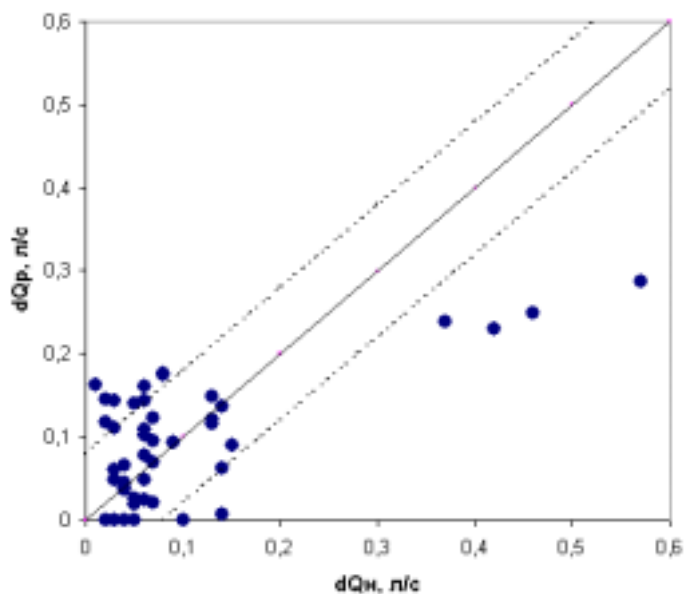


Рис. 2. Соотношение между наблюдаемым повышением дебита источника dQ_n и расчетным повышением дебита источника dQ_p в соответствии с (3). Пояснения см. в тексте.

соответствии с (3). На рис. 2 повышение дебита по (3) соответствует срединной линии, для которой $dQ_n = dQ_p$. Пунктирной линией ограничена область, для которой $|dQ_n - dQ_p| \leq 0.07$ л/с, где 0.07 л/с – величина

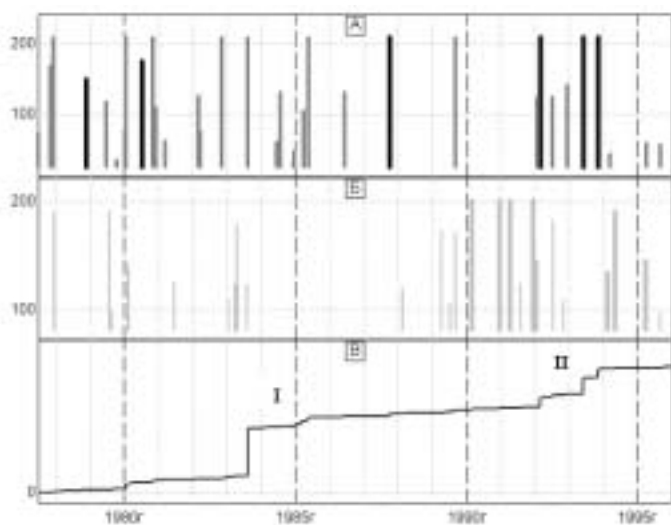


Рис. 3. Распределение во времени землетрясений 1977 – 1995 гг., вызвавших различный тип отклика в изменении дебита источника: а – землетрясения, вызвавшие повышенный (черные вертикальные линии) и нормальный (темно-серые вертикальные линии) отклик дебита источника; б – землетрясения, вызвавшие пониженный отклик источника (толстые серые вертикальные линии) и землетрясения, не вызвавшие изменения дебита (тонкие серые линии); в – кумулятивный график выделения сейсмической энергии радиусе до 450 км от п. Пиначево. I – сейсмическая активизация 1983-1984 гг., II – сейсмическая активизация 1992 -1993 гг.

среднего квадратического отклонения для ряда разностей $dQ_n - dQ_p$.

Точки, расположенные выше пунктирной линии на рис. 2, соответствуют относительно пониженным величинам косейсмического повышения дебита источника, а точки, расположенные ниже пунктирной линии соответствуют событиям с проявлением повышенного косейсмического отклика. Точки, расположенные между пунктирными линиями, соответствуют нормальному проявлению косейсмического отклика водоносной системы источника на произошедшие землетрясения.

Такой анализ дает возможность разделить наблюдаемые косейсмические повышения дебита источника на три типа: нормальный, повышенный и пониженный.

В 1977-1995 гг., помимо выявленных 44-ех землетрясений, вызвавших косейсмическое повышение дебита, были обнаружены землетрясения с сопоставимыми величинами энергетических параметров (K, M) и гипоцентральных расстояний R , после которых не наблюдалось какие-либо изменения режима источника. Наличие таких землетрясений указывает на нерегулярность косейсмического отклика источника I и на возможную временную изменчивость свойств водоносной системы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 3 представлено распределение во времени землетрясений, вызвавших различные виды косейсмического отклика в изменении дебита источника в 1977 – 1995 гг. График 3а показывает моменты землетрясений, вызвавшие повышенный и нормальный отклик дебита источника. График 3б показывает моменты землетрясений, вызвавших пониженный отклик источника, а также моменты землетрясений, после которых косейсмические изменения режима источника не проявились. График 3в - кумулятивный график выделения сейсмической энергии на 10-суточных интервалах для землетрясений с $K_s \geq 9.0$, $H=0-200$ км в радиусе до 450 км от п. Пиначево. Диапазон изменения накопленной сейсмической энергии составляет от 9.7×10^9 до 6.65×10^{15} Дж.

События с относительно пониженным косейсмическим повышением дебита источника либо перемежаются с событиями, вызвавшими нормальный отклик (это наблюдалось в 1977 – 1982 гг., 1984 – 1989 гг., 1992-1995 гг.), либо они образуют во времени компактные группы совместно с землетрясениями, не вызывающими косейсмического изменения режима источника. Проявление группировки событий исключительно с пониженным косейсмическим откли-

ком или с его отсутствием соответствует двум периодам: 1 - первая половина 1983 г.; 2 - 1990-1991 гг.

Сопоставление графиков на рис. 3 показывает, что интервалы проявления пониженного отклика дебита источника на землетрясения предшествуют повышению сейсмической активности на Камчатке. Периоды такого повышения сейсмической активности проявляются в виде ступенчатого роста кумулятивного графика выделения сейсмической энергии землетрясений (рис. 3в). Пониженный отклик источника фиксировался в течение не менее полугода перед сейсмической активизацией в 1983 -1984 гг. (I на рис. 3в) и в течение не менее двух – двух с половиной лет перед сейсмической активизацией 1992-1993 гг. (II на рис. 3в). Это может указывать на изменение свойств водоносной системы источника на стадии подготовки таких сейсмических активизаций.

ВЫВОДЫ

1. По данным режимных наблюдений на источнике Пиначевском 1 в 1977 -1995 гг. выявлено 44 землетрясения, которые вызывали увеличение дебита источника. Получены зависимости косейсмического повышения дебита источника ΔQ от параметров землетрясений: магнитуды (M), энергетического класса (K) и гипоцентрального расстояния (R).

2. Выделены три типа косейсмических повышений дебита источника: нормальные, повышенные и пониженные. Обнаружено группирование событий с пониженным косейсмическим откликом дебита источника в течение 0.5 года перед сейсмической активизацией 1983 – 1984 гг. и в течение 2 – 2.5 лет перед сейсмической активизацией 1992 – 1993 гг.

Выявленные особенности проявления косейсмического отклика источника указывают на изменение свойств его водоносной системы на стадии подготовки сейсмических активизаций на Камчатке.

Научный руководитель: доцент кафедры географии, геологии и геофизики КГПУ, к. г.-м.н. Г.Н. Копылова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Копылова Г.Н. Анализ влияния сейсмичности на режим Пиначевских термопроявлений на Камчатке (по результатам наблюдений в 1979 – 1988 гг.) // Вулканология и сейсмология. 1992. № 2. С. 3 – 18.

Копылова Г.Н., Сугробов В.М., Хаткевич Ю.М. Особенности изменения режима источников и гидрогеологических скважин Петропавловского полигона (Камчатка) под влиянием землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1994. № 2. С. 53-70.

Копылова Г.Н., Латыпов Е.Р., Пантюхин Е.А. Информационная система «Полигон»: комплекс программных средств для сбора, хранения и обработки данных геофизических наблюдений // Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия. Новосибирск. Изд-во СО РАН. 2003. С. 393 – 399.

Шебалин Н.В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука. 1968. С. 95 –111.

Хаткевич Ю.М. О возможности среднесрочного прогноза землетрясений интенсивностью свыше 5 баллов, проявляющихся в г. Петропавловске-Камчатском // Вулканология и сейсмология. 1994., № 1. С. 63 – 67.

The Estimation of Parameters of Coseismic Response of Spring

P. V. Voropaev

Kamchatkan State Pedagogical University, Petropavlovsk – Kamchatsky, 683032

44 coseismic increases of spring discharge caused by earthquakes are obtained during 1977 - 1995. These earthquakes are considered as a sounding signals of condition of groundwater system of spring. Analysis of coseismic increases of spring discharge depending on variation of seismic regime of the Kamchatka region is producing.