

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Г.В. Рябинин, Ю. М. Хаткевич

Камчатский филиал учреждения Российской академии наук Геофизической службы РАН,
Петропавловск-Камчатский, e-mail: gena@emsd.iks.ru

С 1977 г. на Камчатке проводятся непрерывные наблюдения за режимом подземных вод, организованные специально в связи с проблемой поиска и изучения гидрогеологических предвестников землетрясений. В настоящий момент сеть наблюдений состоит из 11 водопунктов (скважин и источников), находящихся в окрестности г. Петропавловска-Камчатского. Комплекс режимных наблюдений включает в себя измерения величин атмосферного давления и температуры воздуха, измерение температуры и расхода воды скважин и источников, отбор проб воды и газа для последующего их анализа в лабораторных условиях. В общей сложности измеряется и анализируется более 20 параметров. Интервал между режимными наблюдениями для разных пунктов составляет от 3 до 6 суток.

В 1994 г. в журнале “Вулканология и сейсмология” была опубликована статья под названием: «О возможности среднесрочного прогноза землетрясений интенсивностью свыше пяти баллов, проявляющихся в г. Петропавловске-Камчатском» [Хаткевич, 1994]. Результаты исследований на тот момент позволили сделать вывод о том, что по наблюдениям за режимом подземных вод на Камчатке возможно осуществление среднесрочного прогноза землетрясений с заблаговременностью до полугода. С тех пор прошло уже пятнадцать лет, но приходится признать, что вопрос о возможности прогноза землетрясений гидрогеохимическими методами не потерял своей актуальности. Прогноз землетрясения в самой общей своей формулировке подразумевает определение времени сейсмического события, энергии и местоположения его эпицентра. Сама возможность прогноза основана на феномене предвестников, представляющих собой аномальные изменения различного рода гидрогеохимических показателей подземных вод перед сильными сейсмическими событиями. В работе [Киссин, 1979] (опубликованной 30 лет назад) определяются два пути для научного обоснования предвестников землетрясений, наблюдающихся в режиме подземных вод. Первый путь связан с теоретическими и экспериментальными исследованиями влияния процессов, предшествующих землетрясениям, на подвижные компоненты земной коры – подземные воды и газы. Второй путь предполагает натурное изучение гидрогеологических (в том числе и гидрогеохимических) эффектов в период подготовки землетрясения. Несмотря на очевидные успехи, достигнутые в прошедшие годы в теоретических и экспериментальных исследованиях процессов, развивающихся на стадии подготовки тектонических землетрясений, вероятно, не будет являться преувеличением вывод о том, что в настоящий момент нет общепринятой и проверенной теории подготовки сейсмических событий, которая бы объясняла феномен предвестников, в том числе и гидрогеохимических. Вместо этого, имеется ряд концептуальных моделей, являющихся результатом теоретических и экспериментальных исследований. Выбор в пользу той или иной модели основывается на специфике имеющихся данных и возможностях конкретной модели объяснить наблюдаемые эффекты. Отсутствие общепризнанной теории, генетически связывающей процессы подготовки землетрясений и их предвестники, вынуждает следовать «второму пути», основой которого являются длительные наблюдения за различными показателями и, в особенности, за их поведением перед сильными сейсмическими событиями. Очевидно, что возможность прогноза, в данном случае, всецело определяется количеством собранного материала, а именно количеством событий типа «предвестник – землетрясение», выделенных в результате ретроспективного анализа. Здесь следует оговориться о том, что при таком подходе термин «предвестник землетрясения» оказывается не совсем правильным. Более уместным, по нашему мнению, является термин «прогнозный признак землетрясения», под которым понимается некое характерное изменение наблюдаемого показателя, которое может проявляться в период предшествующий сильным сейсмическим событиям. Понятие гидрогеохимического прогнозного признака не имеет четких очертаний. В одних случаях под этим термином понимается изменение каких-либо статистических свойств сигнала, таких как математическое ожидание, дисперсия или спектр колебаний [Беляев, 2000]. В большинстве же работ в качестве прогнозных признаков рассматриваются морфологические особенности

изменений наблюдаемых показателей, такие как положительные и отрицательные бухтообразные изменения, положительные и отрицательные импульсные вариации, гармонические последовательности импульсов и т. п. Из этого можно сделать вывод, что универсального прогностического признака, наблюдаемого в вариациях гидрогеохимических показателей перед землетрясениями, не существует. Изменения гидрогеохимических показателей, рассматриваемые в качестве прогностического признака, должны иметь «аномальный» характер, т. е. значительно отличаться от фоновых вариаций. Для разделения вариаций гидрогеохимических показателей на фоновые и сверхфоновые необходимо установление порогового уровня, выход за пределы которого может являться основанием для отнесения того или иного изменения в разряд аномальных. В работе [Любушин, 2007] справедливо замечено о том, что применительно к данным геофизического мониторинга определение критических порогов является чрезвычайно трудной задачей. С этим нельзя не согласиться, поскольку большинство временных рядов наблюдаемых показателей относятся к классу нестационарных процессов, для которых задача определения фонового уровня, строго говоря, просто не имеет смысла. Из этого следует, что даже на стадии идентификации прогностического признака землетрясения возникают проблемы, не имеющие формального решения и требующие индивидуальных подходов, которые основываются в большей мере на эмпирическом опыте.

Возвращаясь к проблеме прогноза, следует заметить, что для его реализации недостаточно идентифицировать прогностический признак как таковой, необходимо также иметь некие закономерности (корреляции), связывающие параметры этого прогностического признака (амплитуду, длительность и т. п.) и пространственно энергетические характеристики землетрясений (магнитуду, эпицентральное расстояние и т. д.). Анализ ранее проведенных исследований показывает, что наибольшие корреляции получены при сопоставлении временных параметров различного рода эффектов с характеристиками землетрясений. Аналогичные корреляции с амплитудными параметрами оказываются менее выраженными [Зубков, 1981; Зубков, 1987; Киссин, 1988]. Результаты наблюдений на Камчатке показывают, что сильным региональным землетрясениям могут предшествовать аномальные изменения различных гидро-газохимических показателей [Хаткевич, 2006]. Морфологический анализ предшествующих землетрясениям эффектов позволил выделить наиболее вероятные прогностические признаки сейсмических событий. Установлено, что, в большинстве случаев, перед землетрясениями наблюдаются либо отрицательные бухтообразные изменения концентраций растворенных в воде веществ и газов длительностью десятки – сотни суток, либо положительные импульсные вариации, продолжительность которых составляет сутки – первые десятки суток. В таблице 1 представлены результаты корреляционного анализа для параметров гидрогеохимических эффектов и характеристик ассоциируемых с ними сейсмических событий отдельно для показателей макрокомпонентного и газового состава подземных вод. Для оценки тесноты корреляционной связи использовался непараметрический критерий – ранговый коэффициент корреляции Спирмена. В качестве характеристик землетрясений использовались: K_s – энергетический класс землетрясения, S – эпицентральное расстояние. В качестве параметров гидрогеохимических эффектов рассматривались: T – время, отсчитываемое от начала формирования гидрогеохимического эффекта до момента землетрясения (время предвестника); τ – время, отсчитываемое от экстремального значения гидрогеохимического эффекта до момента землетрясения (время экстремума); $|C|$ – модуль амплитуды изменения того или иного гидрогеохимического показателя. Буквой N в таблице обозначен размер выборки типа «предвестник – землетрясение». Через наклонную черту приведены значения статистик $\rho / T_{кр}$, где ρ – ранговый коэффициент корреляции Спирмена, $T_{кр}$ – критическое значение рангового коэффициента корреляции. При условии $\rho > T_{кр}$ коэффициент корреляции считается значимым [Гмурман, 2002]. Из таблицы видно, что наибольшие статистически значимые величины рангового коэффициента корреляции получены для временных параметров (времени предвестника и времени экстремума) бухтообразных вариаций, наблюдавшихся в макрокомпонентном составе подземных вод. Таким образом, результаты корреляционного анализа подтверждают результаты подобных оценок, приводимые в уже упоминавшихся работах других авторов, в которых показано, что время предвестника и время экстремума, в отличие от амплитуды или абсолютного значения, являются наиболее устойчивыми прогностическими характеристиками прогностических признаков. Несмотря на это, низкие значения коэффициентов корреляции не позволяют рассчитывать на установление надежных

эмпирических зависимостей между оцениваемыми параметрами, которые могли бы лечь в основу алгоритма прогноза землетрясений гидрогеохимическими методами.

В качестве одной из статистик временных параметров гидрогеохимических эффектов можно рассматривать форму их распределения. Установление вида статистического распределения для времен экстремумов (τ) может оказаться полезным для разработки вероятностного подхода к

Таблица. Значения ранговых коэффициентов корреляции Спирмена

| | Ks | S | N |
|--|--------------|--------------|----------|
| Бухтообразные вариации макрокомпонентного состава | | | |
| T | 0.54 / 0.24 | 0.43 / 0.26 | 50 |
| τ | 0.40 / 0.27 | 0.27 / 0.28 | 50 |
| C | 0.01 / 0.29 | -0.24 / 0.28 | 50 |
| Импульсные вариации макрокомпонентного состава | | | |
| τ | 0.01 / 0.23 | -0.05 / 0.23 | 77 |
| C | 0.07 / 0.23 | 0.01 / 0.23 | 77 |
| Бухтообразные вариации газового состава | | | |
| T | 0.21 / 0.54 | 0.24 / 0.53 | 17 |
| τ | 0.21 / 0.54 | 0.01 / 0.55 | 17 |
| C | -0.06 / 0.55 | -0.11 / 0.55 | 17 |
| Импульсные вариации газового состава | | | |
| τ | -0.13 / 0.19 | -0.01 / 0.19 | 106 |
| C | -0.28 / 0.19 | 0.06 / 0.19 | 106 |

прогнозированию временного интервала возникновения сильного землетрясения. К примеру, в работе [Киссин, 1997] показано, что по данным наблюдений на территории бывшего СССР и Китая до 70 % гидродинамических предвестниковых аномалий имели время экстремума от 0 до 20 суток. К сожалению, в этой работе отсутствует характеристика вида распределения, однако, если руководствоваться представленными рисунками, можно предположить, что распределение имеет форму близкую к экспоненциальной. На рисунке 1 представлена диаграмма, иллюстрирующая эмпирическое распределение времен экстремумов гидрогеохимических эффектов, предшествующих сильным землетрясениям Камчатки, и ее аппроксимация кривыми, соответствующими нескольким наиболее известным законам распределения случайной величины, имеющих область определения от 0 до $+\infty$. Тест Колмогорова-Смирнова показал, что наилучшие результаты аппроксимации эмпирических данных получены в случае использования распределения Вейбулла. Зная форму распределения времен экстремумов гидрогеохимических эффектов легко найти наиболее вероятное значение этого параметра, которое, в данном случае, равно 60 суткам. Таким образом, получается, что наиболее вероятный промежуток времени, отсчитываемый от экстремального значения гидрогеохимической аномалии до момента сейсмического события, составляет в среднем 2 месяца. Данный результат предоставляет принципиальную возможность прогнозирования временного интервала возникновения сильного землетрясения по данным гидрогеохимических наблюдений на Камчатке.

Подводя итоги и возвращаясь к затронутому в работе вопросу можно сделать вывод о том, что по данным гидрогеохимических наблюдений на Камчатке возможна реализация среднесрочного прогноза времени возникновения регионального сильного сейсмического события. Возможность же прогноза энергии землетрясения и/или местоположения его эпицентра пока следует рассматривать как трудно реализуемую.

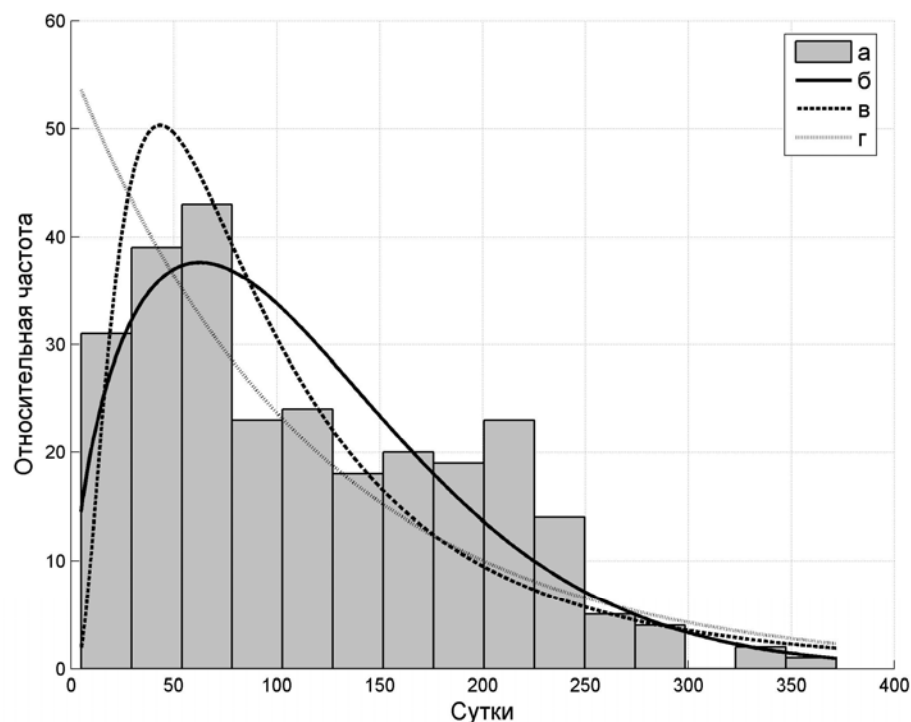


Рисунок. Гистограмма распределения времен экстремальных значений гидрогеохимических эффектов (а) и ее аппроксимация кривыми, соответствующими законам распределения Вейбулла (б), логнормальному (в) и экспоненциальному (г).

Список литературы

- Беляев А. А.** Результаты предварительного анализа комплексных геохимических признаков землетрясений // Геохимия, 2000. № 8. С. 893–898.
- Гмурман В. Е.** Теория вероятностей и математическая статистика // М.: Высшая школа, 2002. 480 с.
- Зубков С. И.** Радоновые предвестники землетрясений // Вулканология и сейсмология, 1981. № 6. С. 74–105.
- Зубков С. Н.** Времена возникновения предвестников землетрясения // Физика Земли, 1987. № 5. С. 87–92.
- Киссин И. Г.** Актуальные вопросы гидрогеологических и геохимических исследований для прогноза землетрясений // Геохимия. – 1979. – № 3. – С. 338–344.
- Киссин И. Г.** Высокоамплитудные предвестники землетрясений и чувствительные зоны земной коры // Физика Земли, 1988. № 6. С. 3–13.
- Киссин И. Г.** О соотношении между предвестниками землетрясений и постсейсмическими эффектами // ДАН. 1997. Т. 354. № 6. С. 804–808.
- Любушин А. А.** Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. М.: Наука. 2007. 228 с.
- Хаткевич Ю. М.** О возможности среднесрочного прогноза землетрясений интенсивностью свыше 5 баллов, проявляющихся в городе Петропавловске – Камчатском // Вулканология и сейсмология, 1994. № 1. С. 63–67.
- Хаткевич Ю. М., Рябинин Г. В.** Гидрогеохимические исследования на Камчатке в связи с поиском предвестников землетрясений // Вулканология и сейсмология, 2006. № 4. С. 34–42.