

Пространственно-временные вариации геодинамического режима Камчатки по данным инструментальных наблюдений

Г.Н. Копылова

Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006, Россия

В работе проводится анализ данных многолетних гидрогеохимических, гидрогеодинамических, геодезических и сейсмологических наблюдений на Камчатке, направленный на разработку региональной модели процессов подготовки сильных землетрясений. Обсуждаются три вопроса: (1) особенности сейсмического режима Камчатки в 60–90 гг. XX в. по данным детальных наблюдений; (2) систематизация аномальных изменений гидрогеодинамических, гидрогеохимических, деформометрических и сейсмологических параметров в связи с сильными землетрясениями; (3) пространственно-временные соотношения между аномальными эффектами в геофизических полях континентальной Камчатки и вариациями сейсмичности в сейсмофокальной зоне. Предложена схема развития и взаимосвязи сейсмических, гидрогеологических и деформационных процессов, которые предшествовали и сопутствовали активизации сейсмичности в 1992–1997 годах. В основе схематической модели лежит представление о формировании и разрушении обширных областей консолидации, развитие которых на определенных этапах сопровождается ростом напряжений на границах, сжатием территории, аномальными физико-химическими состояниями водонапорных систем и возникновением сильных землетрясений в краевых частях. Последовательности сильных землетрясений и их афтершоков приводят к разрушению консолидированных областей.

Spatial-temporal variations of the geodynamic regime of Kamchatka based on data of seismological observations

G.N. Kopylova

The following three issues are discussed in the work: (i) peculiar features of the seismic regime of the Kamchatka transition zone in 60s through 90s of the XX century based on the data of the detailed observations; (ii) systematization of abnormal changes of hydrogeodynamic, hydrogeochemical, deformometrical, and seismological parameters due to the powerful earthquakes; (iii) spatial-temporal interrelationships between abnormal effects in geophysical fields of continental Kamchatka and variations of seismic regime of the Kamchatkan seismic focal zone. Analysis of data of hydrogeochemical, hydrogeodynamic, geodetic, and seismological observations is focused on the development of the regional model of processes of the preparation of powerful earthquakes. A schematic model was proposed of development and interrelation of seismic, hydrogeological, and deformational processes, which preceded and accompanied the seismicity intensification in 1992 through 1997. The model is based on the concept on formation, development, and destruction of vast areas of consolidation, evolution of which at certain stages is accompanied by an increase of stress at the boundaries, compression of the territory, development of abnormal physical-chemical states of underground water systems and occurrence of powerful earthquakes at the edge areas. Sequences of strong earthquakes and their aftershocks lead to the destruction of the consolidated areas.

1. Введение

Данные многолетних наблюдений за различными геофизическими, геохимическими и деформационными параметрами содержат информацию о развитии современных геодинамических процессов, протекающих в верхних горизонтах земной коры в сейсмоактивных регионах. Традиционно особый интерес вызывают процессы, связанные с подготовкой сильных землетрясений. Для Восточной Камчатки это особенно актуально, т.к. здесь в силу природных особенностей региона уро-

вень сейсмической активности приближается к максимуму на планете [1].

В тектоническом отношении рассматриваемый район с востока на запад включает систему параллельных структур зоны перехода океан – континент: Курило-Камчатский глубоководный желоб, континентальный склон, невулканическую дугу и современный вулканический пояс [2]. В западном направлении происходит увеличение мощности земной коры и резкая дифференциация ее упругих и плотностных свойств [2–5].

Повышенные скорости сейсмических волн отмечаются в пределах сейсмофокальной зоны, где происходит подавляющее большинство землетрясений, в т.ч. сильнейшие с M до 8–8.5. К западу от сейсмофокальной зоны в районах современного вулканизма наблюдается уменьшение скоростей сейсмических волн в коре и верхней мантии [4]. Большинство исследователей сейсмофокальная зона рассматривается в качестве границы литосферных плит — Тихоокеанской плиты океанического типа и Евразийской плиты континентального типа, где осуществляются их контакт и взаимодействие (субдукция) в условиях критического напряженного состояния среды. Вариации геодинамических процессов в пределах Камчатской переходной зоны могут быть связаны с неравномерностью (нестационарностью) субдукции [2, 5, 6], а также с воздействием общепланетарных и космических факторов. Развитие геодинамических процессов во времени проявляется в сейсмическом режиме, в перераспределении напряженно-деформированного состояния верхних горизонтов земной коры, а также в опосредованных этим изменением флюидо-динамических процессах. Комплексный анализ изменений сейсмических, гидрогеологических и деформационных параметров за многолетний период позволяет оценивать эволюцию современного геодинамического процесса в Камчатской переходной зоне.

2. Методы

В работе проводится систематизация результатов гидрогеохимических, гидрогеодинамических, геодезических и сейсмологических наблюдений на Камчатке, которые проводились в течение четырех десятилетий в целях геофизического мониторинга и поиска предвестников землетрясений. Данные о региональной сейсмичности и временные ряды гидрогеодинамических, гидрогеохимических и деформометрических параметров характеризуют временную изменчивость состояния контролируемых природных объектов и происходящие в них процессы. Геодинамическая активизация в регионе и подготовка сильных землетрясений могут проявляться в увеличении коррелированности или синхронизации поведения наблюдаемых параметров, указывающих на усиление взаимодействия процессов в верхних горизонтах земной коры. Поэтому особое внимание уделяется эффектам в изменении наблюдаемых параметров, предшествующих сильным землетрясениям. Такие эффекты сложны для идентификации, выделяются, в основном, ретроспективно экспертным способом или методами многомерного статистического анализа [7].

3. Результаты

1. Сейсмический режим Восточной Камчатки во времени сильно варьирует. По данным детальных наблюдений в 1961–2000 гг. выделяются периоды повышения

сейсмической активности, когда на интервале от 1.4 до 3.3 лет происходили серии землетрясений (2–4 события) с $M_s \geq 6.8$ (рис. 1). Такие серии фиксируют не только периоды повышенного выделения сейсмической энергии, но и, предположительно, заключительные стадии предшествующих геодинамических процессов.

Сейсмическим активизациям III и IV (рис. 1) предшествовали в течение первых лет аномалии в режиме слабой сейсмичности, которые соответствовали последовательной смене обширного сейсмического затишья и слабо выраженной локальной активизации [5]. В течение двух лет перед сейсмической активизацией 1992–1993 гг. (III на рис. 1), наблюдалось сейсмическое затишье в области, примыкающей к районам последующего возникновения трех сильных землетрясений (см. схему).

2. В течение от двух лет до первых месяцев перед землетрясением 2.03.1992 г., $M_s = 7.1$ (первым в серии землетрясений III) наблюдались аномальные эффекты в изменениях режима подземных вод [7–10], деформаций [11, 12] и других параметров. Аномалии в изменениях гидрогеологических и деформометрических параметров наблюдались перед Кроноцким землетрясением 5.12.1997 г., $M_s = 7.9$ [6, 8, 13]. В отношении природы и механизма возникновения таких аномалий нет полной ясности. Остается открытым вопрос: являются ли такие аномалии предвестниками (предшественниками) конкретных сильных землетрясений, либо они являются проявлениями геодинамического процесса, предшествующего сейсмическим активизациям III и IV?

3. Обнаружено эпизодическое проявление эффектов синхронизации в изменении параметров сейсмичности в пределах сейсмофокальной зоны, параметров режима подземных вод и деформаций в континентальных районах перед некоторыми сильными землетрясениями, на-

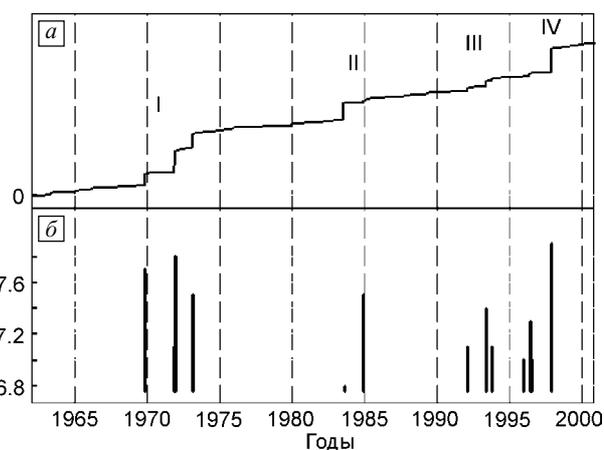


Рис. 1. Характеристика сейсмического режима Камчатки в 1962–2000 гг.: кумулятивный график выделения сейсмической энергии (диапазон изменения $6.1 \cdot 10^{12}$ – $2.4 \cdot 10^{16}$ Дж) (а); землетрясения с $M_s > 6.8$. I–IV — периоды сейсмической активизации (б)

Схема процессов подготовки землетрясений 1992–1993 гг.

Характеристика наблюдаемых процессов	Физическая интерпретация
Образование области сейсмического затишья в Авачинском заливе и на Южной Камчатке (1990–1992 гг.)	Формирование области консолидации 
Синхронные проявления аномалий в режиме подземных вод и изменений параметров слабой сейсмичности, упругое сжатие территории полигона; аномалии ΔS и землетрясения-кластеры на границе области сейсмического затишья (VI.1991 г. – II.1992 г.)	Рост напряжений на С, СЗ и ЮЗ границах области консолидации 
Возникновение землетрясений с $M = 7.1-7.4$ и их афтершоков в краевых зонах области сейсмического затишья; увеличение числа слабых землетрясений (III.1992 г. – 1993 г.)	Разрушение области консолидации; уменьшение напряжений на ее границах 
Образование области сейсмического затишья в Камчатском заливе (севернее Кроноцкого п-ова) (~1992–1996 гг.)	Формирование области консолидации; рост напряжений на границах 

пример, перед землетрясениями 6.10.1987 г., $M_s = 6.6$ и 2.03.1992 г., $M_s = 7.1$ (первое в серии III). Такая синхронизация в изменении режима подземных вод, деформаций и сейсмичности указывает на опосредованность процессов в сейсмофокальной зоне и в пределах континентальной Камчатки общей причиной — активизацией современного геодинамического процесса с последующим возникновением серий сильных землетрясений [14].

4. Обсуждение

Предложена схема развития и взаимосвязи сейсмических, гидрогеологических и деформационных процессов, которые предшествовали и сопутствовали активизации сейсмичности в 1992–1997 годах (см. схему). В основе схематической модели лежит представление о формировании, развитии и разрушении обширных областей консолидации, развитие которых на определенных этапах сопровождается ростом напряжений на границах, сжатием территории, развитием аномальных физико-химических состояний водонапорных систем и возникновением сильных землетрясений в краевых частях. Последовательности сильных землетрясений и их афтершоков приводят к разрушению консолидированных областей.

5. Выводы

Систематизация многолетних данных комплексных наблюдений на Камчатке позволяет конкретизировать пространственно-временные особенности современного геодинамического процесса в Камчатской переходной зоне. Предложена схема процессов подготовки сильных землетрясений в 1992–1997 гг., которая может служить основой их последующего физико-математического моделирования.

Литература

1. Федотов С.А., Гусев А.А., Чернышева Г.В., Шумилина Л.С. Сейсмофокальная зона Камчатки (геометрия, размещение очагов землетрясений и связь с вулканизмом) // Вулканология и сейсмология. – 1985. – № 4. – С. 91–107.
2. Авдейко Г.П., Попруженко С.В., Палуева А.А. Тектоническое развитие и вулкано-тектоническое районирование Курило-Камчатской островодужной системы // Геотектоника. – 2002. – № 4. – С. 64–80.
3. Балеста С.Т., Гонтовая Л.И. Сейсмическая модель земной коры Азиатско-Тихоокеанской зоны перехода в районе Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 1985. – № 4. – С. 83–90.
4. Гонтовая Л.И., Левина В.И., Санина И.А., Сеюков С.Л., Степанова М.Ю. Скоростные неоднородности литосферы под Камчаткой // Вулканология и сейсмология. – 2003. – № 4. – С. 56–64.
5. Селиверстов Н.И. Строение дна прикамчатских акваторий и геодинамика зоны сочленения Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. – М.: Научный мир, 1988. – 164 с.
6. Gordeev E. I., Gusev A. A., Levin V. E. et al. Preliminary analysis of deformation at the Eurasia-Pacific-North America plate junction from GPS data // Geophys. J. Int. – 2001. – V. 147(1). – P. 189–198.

7. Любушин А.А. (мл.), Копылова Г.Н., Хаткевич Ю.М. Применение многомерного анализа для обработки данных гидрогеологических наблюдений на Петропавловском полигоне, Камчатка, с целью поиска предвестников землетрясений // Вулканология и сейсмология. – 1996. – № 1. – С. 79–97.
8. Копылова Г.Н. Изменения уровня воды в скважине Елизовская-1, Камчатка, вызванные сильными землетрясениями (по данным наблюдений в 1987–1998 гг.) // Вулканология и сейсмология. – 2001. – № 2. – С. 39–52.
9. Копылова Г.Н. Современные геофизические процессы Камчатской переходной зоны и их взаимодействия (по данным комплексных наблюдений) // Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики: Материалы Всеросс. совещания. – Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. – Т. 1. – С. 245–248.
10. 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.
11. Бахтияров В.Ф., Левин В.Е. Светодальномерные измерения из обсерватории Мишенная. Анализ результатов наблюдений // Вулканология и сейсмология. – 1991. – № 3. – С. 85–89.
12. Федотов С.А., Магуськин М.А., Левин В.Е. и др. Деформации земной поверхности на Восточном побережье Камчатки и их связь с сейсмичностью // Вулканология и сейсмология. – 1988. – № 1. – С. 24–40.
13. Хаткевич Ю.М., Рябинин Г.В. Гидродинамические и гидрогазохимические вариации параметров режима подземных вод в периоды подготовки и реализации Кроноцкого землетрясения 05.12.97 г. // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г. Предвестники, особенности, последствия. Петропавловск-Камчатский, КГАРФ, 1998. – С. 134–147.
14. Копылова Г.Н., Серафимова Ю.К. Процессы подготовки сильных ($M \geq 6.6$) землетрясений Камчатки 1987–1993 гг. по данным многолетних комплексных наблюдений // Вулканология и сейсмология. – 2004. – № 1. – С. 55–61.
- ?. Копылова Г.Н. Эффекты подготовки сильных землетрясений в изменениях фоновых геофизических процессов Камчатской переходной зоны // Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы: Труды Всеросс. совещания. – Новосибирск. Изд-во СО РАН, 2003. – С. 67–72.
- ?. Соболев Г.А. Стадии подготовки сильных камчатских землетрясений // Вулканология и сейсмология. – 1999. – № 4–5. – С. 63–72.