

СЕЙСМОЛОГИЯ

УДК 528.2

Академик Р.А. Мовсесян, А.К. Певнев, С.Ю. Баласанян, А.Г. Бегларян

**Сейсмическая геодезия
(новое направление в геодинاميке)**

(Представлено 6/V 2002)

В начале XX столетия геодезию было принято подразделять на элементарную и высшую. Затем возникла прикладная, или инженерная, геодезия, названия ветвей которой - строительная геодезия, геодезия в лесном хозяйстве, землеустройстве и т.п. - подчеркивают их конкретное назначение. В начале 60-х гг. появились радиогеодезия, а чуть позже - спутниковая (космическая) геодезия. Сегодня на повестке дня стоит вопрос о формировании сейсмической геодезии [1-10].

В настоящей статье предлагаются к обсуждению задачи, которые должны решаться методами и средствами сейсмической геодезии. Прежде всего считаем необходимым отметить, что геодезия может оказать существенную помощь в исследованиях, связанных с решением проблемы прогнозирования тектонических землетрясений, лишь в тесном взаимодействии с сейсмологией и геофизикой, сейсмотектоникой и геологией. Далее, речь идет лишь о том, чтобы сделать более эффективным комплексное изучение различных предвестников землетрясений для прогноза сейсмической опасности.

Несколько десятилетий тому назад появился новый раздел наук о Земле, лежащий на стыке геодезии, геофизики, астрономии и океанологии - геодинاميка, одной из задач которой "является изучение движения земной коры в сейсмоактивных районах с целью получения данных, необходимых для прогноза сейсмической опасности... К проблемам, возникающим при изучении геодинамических явлений геодезическими методами, относятся, в частности, развитие средств измерений очень высокой точности и создание математического аппарата геодезических исследований" [11]. С приведенными выдержками из книги известного ученого в области современной высшей геодезии А.П. Пеллинен хорошо согласуются задачи, которые рассматриваются в данной статье.

Термин "сейсмическая геодезия" предлагается использовать в тех случаях, когда геодезические методы высокоточных измерений относительно положения точек земной поверхности проводятся в районе подготовки сильного тектонического землетрясения. Речь идет об измерениях, выполняемых по трассе активного геологического разлома, а также в поперечном к

нему направлению. При этом предполагается, что сейсмоструктурными и геофизиками определен на местности активный разлом с точностью 100-200 метров,

В задачи сейсмической геодезии входят:

1. Разработка теории геодезического деформационного предвестника, которая позволяет по данным повторных геодезических измерений, путем использования математических формул, выведенных на основании теории упругости, ответить на вопросы;

- а) какова магнитуда ожидаемого землетрясения;
- б) какой будет подвижка крыльев разлома в момент землетрясения;
- в) каково ежегодное смещение крыльев разлома;
- г) какова длительность подготовки ожидаемого землетрясения;
- д) каков период времени, прошедший с момента начала подготовки землетрясения, до начала выполнения геодезических измерений,

2. Разработка методики выполнения геодезических измерений с целью обнаружения:

- а) зоны криновых перемещений вдоль линии разлома;
- б) зоны сжатия;
- в) зоны растяжения;
- г) зоны зацепления блоков земной коры;
- д) начала участка будущего очага (начала зоны зацепления);
- е) конца участка зоны зацепления.

3. Разработка методики выполнения геодезических измерений в поперечном к разлому направлении с целью определения приращений координат деформационной кривой со временем:

а) разработка метода створных измерений для определения приращения ординат деформационной кривой в направлении, параллельном разлому;

б) разработка метода для определения приращений ординат деформационной кривой с применением Глобальной позиционной системы (GPS приемников);

в) разработка высокоточного деформографа для определения длин отрезков между точками местности на дистанциях до 1 км с относительной ошибкой, близкой к $(1 \div 2) \times 10^{-7}$;

г) разработка системы гидростатического нивелирования для дистанционного слежения за вертикальными деформациями точек земной коры с ошибками, близкими к ± 0.1 мм.

4. Выполнение лабораторных исследований с целью:

а) моделирования на стенде процесса подготовки землетрясения согласно гипотезе Г. Ф. Рейда;

б) исследования физико-механических свойств горных пород в зоне конкретного разлома,

5. Компьютерная обработка всей поступающей информации и, в частности, данных измерений, выполняемых с помощью GPS приемников.

Задачи, стоящие перед сейсмической геодезией, должны решаться, как с использованием традиционных методов инженерной и высшей геодезии, так и путем разработки новых методов, основанных на особенностях поставленной задачи, с использованием новейших достижений геодезии.

Несомненно, предстоит дальнейшее уточнение и развитие предлагаемых теоретических решений [4-10] в процессе их практической реализации на конкретных разломах.

В [4-9,12] сделана первая попытка теоретического подхода к обнаружению аналитической зависимости между деформационным предвестником (его характеристиками) и параметрами будущего очага землетрясения. В качестве геодезического деформационного предвестника предлагается использовать не только упругий изгиб горных пород в зоне зацепления двух находящихся в относительном движении блоков земной коры [2], но и упругое сжатие и упругое растяжение земной коры на участках, прилегающих к зоне зацепления.

Возможности сейсмической геодезии, как нам кажется, весьма перспективны, поскольку существует достаточно четкое представление о механизме разрыва горных пород, известном под названием "теории упругой отдачи Г. Ф. Рейда" [3]. За последнее десятилетие внимание к гипотезе Г.Ф. Рейда, выдвинутой 90 лет тому назад, повысилось [2,13,14]. Это можно объяснить тем, что поиск путей к прогнозу землетрясений продолжается.

По словам известного японского сейсмолога К. Касахары [15], примеры успешного краткосрочного прогноза землетрясений в Китае и ряде других стран показали, что реальная возможность прогноза землетрясений существует. Следовательно, вопрос о том, можно ли прогнозировать землетрясения или нет, следует отныне ставить в более точной формулировке, например: землетрясения какого типа предсказуемы; какие землетрясения, требующие предварительного прогноза, можно предсказать при современных прогностических возможностях; за какой отрезок времени можно предсказать землетрясение? По мнению многих сейсмологов, а также Международной ассоциации сейсмологии и физики земных недр [16], сегодня и очевидно всегда в будущем прогноз землетрясений будет носить вероятностный характер, точно так же как и во всех других областях знаний.

Физической предпосылкой прогноза является предположение о том, что накопление колоссальных деформаций в горных породах до критического уровня, после которого наступает их разрушение и, соответственно, землетрясение, должно сопровождаться изменением физических и других свойств горных пород, которые можно зарегистрировать современными методами наблюдений.

Исходя из этой предпосылки, подтвержденной на практике, вероятность прогноза зависит от многих факторов, главными из которых являются:

- тип прогноза (долгосрочный, среднесрочный, краткосрочный, оперативный);
- благоприятные, хорошо изученные физико-геологические условия;
- многовековая представительная статистика сейсмических событий;
- многолетний многопараметровый плотный мониторинг литосферы с круглосуточной передачей информации в реальном масштабе времени в единый центр сбора, обработки и анализа данных;
- многолетний ретроспективный анализ данных многопараметрового мониторинга литосферы с изучением пре-, ко-, постсейсмических изменений геологической среды при каждом сейсмическом событии;
- профессиональный потенциал ученых, занятых в прогнозе.

Сегодня долгосрочный прогноз сильных землетрясений, который делается на 50, 100 и более лет, в рамках сейсморайонирования имеет весьма высокую вероятность — 0.9 и более (т.е. 90% и более) [17].

Вероятность среднесрочного (от одного до нескольких лет) прогноза по данным многих исследователей, составляет около 0.7-0.8. Что касается краткосрочного (от 1 недели до 1 года) и оперативного (от 1 часа до 1 недели) прогнозов, то их вероятность в целом заметно ниже [18].

С целью прогноза сейсмической опасности Национальной службой сейсмической защиты Армении создана уникальная мониторинговая система, состоящая из более чем 150 многопараметровых станций, передающих информацию о малейших изменениях параметров литосферы в Единый центр обработки и анализа данных. Специальная экспертная система "Эксперт", на основе тестирования текущих данных на предмет их соответствия "образам" прошлых сейсмических событий, круглосуточно оценивает текущую сейсмическую опасность. Ее эффективность подтверждена прогнозом целого ряда сейсмических событий на территории Армении и прилегающих районов [19].

Отделом сейсмогеодезии НССЗ совместно с Национальным аэрокосмическим агентством США (NASA) и Массачусетсом технологическим институтом (США) ведутся высокоточные спутниковые геодезические наблюдения за деформациями земной коры в районе Кавказа, а также по всей зоне коллизии Аравийской и Евразийской плит [20]. Впервые получены направления и скорости деформации земной коры в различных точках на территории Армении. На основе сейсмогеодезических наблюдений, выполняемых НССЗ, стало известно, что территория Армении разбита на активные микроблоки, сжимающиеся со средней скоростью 10 мм/год в направлении движения Аравийской плиты (ЮВ-СЗ) [21].

Построенные по данным GPS-наблюдений поля напряжений при сопоставлении с механизмами очагов землетрясений позволяют судить о сложном соотношении разрывов в очагах землетрясений (на глубинах до 24 км) с деформациями на поверхности земли [19].

Развитие нового направления в науках о Земле - сейсмогеодезии, позволит повысить вероятность прогноза землетрясений. Сейсмогеодезические исследования могут оказаться также весьма эффективными для мониторинга оползневой опасности на территории Армении [22].

Ереванский архитектурно-строительный государственный университет
Национальная служба сейсмической защиты

**Ակադեմիկոս Ռ.Հ. Մովսիսյան, Ա.Կ. Պենն, Ս.Յու. Բալասանյան,
Ա.Գ. Բեգլարյան**

Մեյսմիկ գեոդեզիա (նոր ուղղություն գեոդինամիկայում)

Այսօր օրակարգում դրված է մեյսմիկ գեոդեզիայի ձևավորման հարցը [1-10]: Քննարկվում են խնդիրներ, որոնք պետք է լուծվեն մեյսմիկ գեոդեզիայի օգնությամբ: Տեկտոնիկ երկրաշարժերի կանխագուշակման հետ կապված ուսումնասիրություններում գեոդեզիան կարող է օգտակար լինել միայն մեյսմոլոգիայի, երկրաֆիզիկայի, մեյսմատեկտոնիկայի և երկրաբանության հետ սերտ ներգործությամբ:

Литература

1. Григорян С.С. - ДАН СССР, 1989, Т.308 с. 1083-1087.
2. Певнев А.К. - Изв. АН СССР, Серия Физика Земли. 1988. N12.
3. Raid H.F. - Bull, Of the Department Geology. Univ, California, Publ. 1911.-v.6, N19.-p.413-414.
4. Арутюнян С.Я., Григорян С.С., Мовсесян Р.А., Певнев А.К. Способ прогнозирования возможного очага землетрясения. Патент 470 А2, Армпатент; Офиц. бюл. N1 (5), 1988.
5. Мовсесян Р.А. - Доклады НАН Армении, т.98, N2, 1998.
6. Мовсесян Р.А. - Изв. вузов, Геодезия и аэрофотосъемка, N1, 1999, с.3-17.
7. Григорян С.С., Мовсесян Р.А. - Геодезия и картография, N1, 2002.
8. Бегларян А.Г. - Бюлл. строит. Армении, N12 (17), 1997, с.29-33.
9. Бегларян А.Г., Арутюнян С.Я., Мовсесян Л.Р. - Бюллстроит, Армении, N12 (17), 1997.
10. Мовсесян Р.А., Багдоев А.Г., Саакян А.В. - Доклады НАН РА, 2002. Т. 102. N2
11. Пеллинен Л.П. Высшая геодезия. М., 1992.
12. Мовсесян Р.А. - Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, N2, 2001.
13. Певнев А.К. - Геодезия и картография, N7, 2002.
14. Добровольский И.П. Теория подготовки тектонического землетрясения, М., 1991.
15. Касахара К. Механика землетрясений. М. Мир. 1985.
16. IASPEI annual report, 2001
17. The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP), Annali di Geofizica, vol.42, N6, December, pp.1230.
18. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М. Наука, 1993.
19. Balassanian S. - Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, p. 169, 2000.
20. Balassanian S. (jointly with Prilepin M., Baranova S., Guseva T., Mishin A., Nadaria M., Rodhozhin E., Rozenberg N., Skvorodkin Yu., Hamburger M., King R., Reilinger R. - Физика Земли. 1997. N6. С. 68-75.
21. Balassanian S. (jointly with Boynagryan V.) - 2nd Intern. Conf. on Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction, abstract volume, p. 132, Yerevan, Armenia, September 15-21, 1998.