

## СЕЙСМИЧНОСТЬ И НЕОТЕКТОНИКА ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

*С.В.Горкуша, Ф.С. Онухов, Ф.Г. Корчагин*

*Институт тектоники и геофизики ДВО РАН, г. Хабаровск*

В статье рассматриваются основные особенности неотектонической структуры в связи с распределением эпицентрального поля юга Дальнего Востока России. С этой целью проанализировано распределение: эпицентров землетрясений с  $M \geq 1.8$  и  $M \geq 3.3$ , осредненного поля  $\Delta g$  Буге с шагом 50 км, амплитуд вертикальных неотектонических движений, плотностей поверхностных ( $H \leq 5$  км), коровых ( $H \geq 30$  км) разломов, а также региональных разломов, отдешифрованных по аэрокосмическим снимкам. При помощи кластерного анализа дано нетрадиционное деление неотектонических блоков первого порядка на блоки более высоких порядков, различающихся по сейсмической активности. Показано, что не во всех случаях зоны повышенной и высокой сейсмической активности связаны с активизацией долгоживущих глубинных разломов. Некоторые сейсмогенные зоны слабо коррелируются с неотектоническими особенностями структуры, проявленными в современном рельефе и, по-видимому, связаны с более глубинными процессами, происходящими в низах земной коры, что требует дальнейшего изучения.

### ВВЕДЕНИЕ

В рамках работ по выявлению тектонических условий возникновения землетрясений, представляющих одну из основных задач сейсмогеологии, в пределах Приамурья и Приморья проведен анализ сейсмичности в связи с неотектоническими движениями, блоковой делимостью земной коры, разломами и аномалиями гравитационного поля  $\Delta g$  Буге. Применены как качественные, так и количественные методы построения. Проанализированы основные исходные схемы:

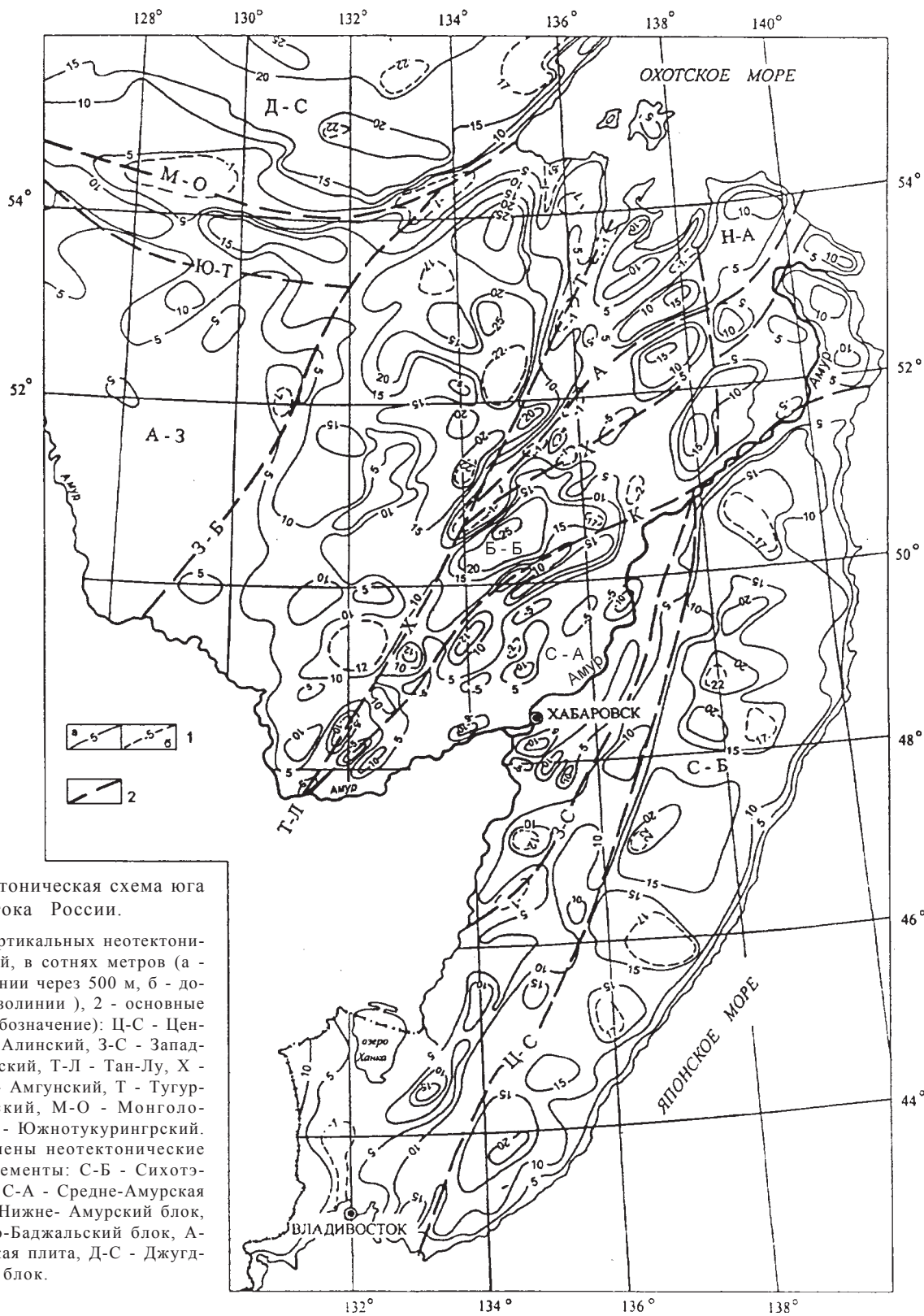
1. Эпицентров землетрясений: а) с магнитудой  $M \geq 1.8$  [8], б)  $M \geq 3.3$  [8,10,13];
2. Осредненного поля  $\Delta g$  Буге с шагом в 50 км [21];
3. Неотектоники, построенной на основе изучения вертикальных неотектонических движений для юга Дальнего Востока России;
4. Плотности разломов: а) поверхностных с глубиной заложения  $H \leq 5$  км, б) глубокого заложения с  $H \geq 30$  км, в) отдешифрованных по аэрокосмическим снимкам.

Подсчет величины приповерхностной тектонической расчлененности, обусловленной разломами протяженностью 10-25 км, проведен при помощи скользящего окна размером  $1 \times 1$  см, что в масштабе карты 1:2 500 000 составляет  $625 \text{ км}^2$ , с учетом суммарной длины разрывных нарушений различных азимутальных направлений. Для дальнейшего анализа полученные таким образом данные использованы в виде изолиний величины

приповерхностной тектонической расчлененности, как отношение суммарной длины нарушений к площади квадрата. Аналогичным образом был проведен анализ плотности разломов докембрийского заложения, закартированных на изданных геологических и тектонических картах масштаба 1:2 500 000 [4,9], а также разломов, выделенных по аэрокосмическим наблюдениям [12]. Следует отметить, что плотность разрывных нарушений по аэрокосмическим данным является более однородной и слабо контрастной по сравнению с другими материалами.

### НЕОТЕКТОНИКА

Исследования проведены в континентальной части юга Дальнего Востока, включающей в качестве главных геоструктурных элементов Монголо-Охотскую и Сихотэ-Алинскую складчатые системы, обрамляющие Буреинский массив. После завершения мезозойского цикла тектогенеза территория в кайнозойское время была вовлечена в процесс горообразования, главная роль в котором принадлежит новейшим блоковым движениям (рис.1). Наиболее интенсивные движения в регионе связаны с плиоцен-четвертичным временем [11]. В формировании блоковой структуры региона наряду с образованием собственно неотектонических разломов большая роль принадлежит унаследованно развивающимся мезозойским и более древним тектоническим нарушениям [16,24]. Среди унаследованно развивающихся разломов главное структурообразующее влияние имеют северо-вос-



**Рис. 1.** Неотектоническая схема юга Дальнего Востока России.

1 - изолинии вертикальных неотектонических движений, в сотнях метров (а - сплошные изолинии через 500 м, б - дополнительные изолинии), 2 - основные разломы (и их обозначение): Ц-С - Центральнo-Сихотэ-Алинский, З-С - Западнo-Сихотэ-Алинский, Т-Л - Тан-Лу, Х - Хинганский, А - Амгунский, Т - Тугурский, К - Курский, М-О - Монголо-Охотский, Ю-Т - Южнотуруингрский. На схеме выделены неотектонические структурные элементы: С-Б - Сихотэ-Алинский блок, С-А - Средне-Амурская впадина, Н-А - Нижне-Амурский блок, Б-Б - Бурейско-Баджалский блок, А-З - Амура-Зейская плита, Д-С - Джугдуро-Становой блок.

точные дизъюнктивы, которые в мезозое в подавляющем большинстве проявлялись как левосторонние сдвиги [2,19]. Отметим, что неотектоническое обновление древних разломов происходит в новых геодинамических условиях, при которых наблюдаются как смена их кинематического типа, так и некоторые локальные различия в пространственном положении древних и молодых структурных линий. По кинематике активизированные северо-восточные разломы чаще относятся к сбросам и взбросам, в ряде случаев имеющим сдвиговую компоненту, соразмерную вертикальным перемещениям или превышающую ее в 3-5 раз [11,17,18]. Обычно региональные неотектонические нарушения протяженностью в сотни километров выделяются как мощные (первые километры) разломные зоны, включающие сложные сочленения оперяющих и ответвляющихся частных разломов, среди которых прослеживаются два-три основных сместителя (с наиболее значительными амплитудами смещения по ним). Между основными сместителями или между ними и их ответвлениями заключены серпо- и линзовидные блоки консолидированных пород или прерывистые цепи узких, чаще всего асимметричных долинных грабен, выполненных рыхлыми кайнозойскими отложениями, низы которых в наиболее погруженных грабенах представлены олигоценом [15]. Такое строение имеют зоны унаследованно развивающихся Хинганского, Курского, Горинского и других разломов северо-восточного простирания на юге Дальнего Востока России. Характерной их чертой является то, что по сравнению с древними структурными линиями при активизации, как правило, формируются более обширные зоны, включающие выше рассмотренные дислокационные элементы. Дополнительную информацию об активизации до неотектонических разломов можно получить морфометрическими методами при исследовании приповерхностной тектонической расчлененности земной коры на базе данных дешифрирования космических снимков и топокарт [15,18].

Основой для такого анализа служит представление о том, что локальные разрывные нарушения и тектонические трещины даже при крутых углах падения не проникают в земную кору глубже, чем на величину, соразмерную половине их протяженности [20]. При пологих углах эта величина значительно меньше. Даже при крутых падениях локальные тектонические нарушения, развитые на периферии поднятий, быстро выходяются с глубиной, как это можно наблюдать в прибрежно-морских обнажениях [14].

Сопоставление блоков земной коры юга Дальнего Востока России, имеющих максимальные амплитуды вертикальных неотектонических движений, показывает, что, независимо от стиля неотектонических дислокаций в их пределах, предельные величины вертикального воздымания близки и различаются в первые сотни метров. Так, Селемджинский и Баджалский блоки, представляющие более обширное Тайкано-Баджалское поднятие [22], характеризуются, в основном, сводовым типом горообразования с вертикальными амплитудами до 2500 м. Сихотэ-Алинский блок, отвечающий одноименному глыбовому поднятию [23], имеет в осевой зоне максимальные вертикальные амплитуды до 2200 м. Примечательно, что блоки земной коры с наибольшими значениями вертикальных неотектонических движений характеризуются высокой степенью насыщенности породных комплексов гранитоидными образованиями [3]. Это указывает на высокую роль разуплотнения земной коры путем ее гранитизации в развитии горообразовательного процесса, по крайней мере, в начале неотектонического этапа. Последующее усложнение поднятий различных типов, в том числе и сводовых, посредством блоковой дифференциации указывает, что в четвертичное время ведущее значение в горообразовании приобрели блоковые движения. В результате этого сформировалась блоковая структура, о которой речь шла выше (рис. 1).

### СЕЙСМИЧНОСТЬ

Землетрясения региона исследования (рис.2, 3) наряду с уверенно выделяемыми зонами и ареалами [6] образуют асейсмичные окна. Следует отметить, что области группирования слабой сейсмичности не всегда совпадают с положением зон сильных землетрясений. Рассмотрим землетрясения с магнитудой более 3.3, определяющие сейсмическую опасность региона. При их анализе выделяется несколько основных линейных зон коровых очагов: 1) субмеридионального, 2) северо - восточного, 3) северо - западного, 4) субширотного простираний и 5) изометричного глубокофокусного ареала. Некоторые из выделенных зон тесно связаны с крупными трансрегиональными разломами, играющими важную роль в неотектонической структуре. Такая связь достаточно ярко наблюдается для зоны 2 (рис. 3), которая контролируется разломом Тан - Лу с его оперением (рис. 1). Судя по анализу геолого - геофизических схем, этот разлом является унаследованно развивающимся. Приуроченность к нему поля повышенной тектонической расчлененности в приповерхностной части земной

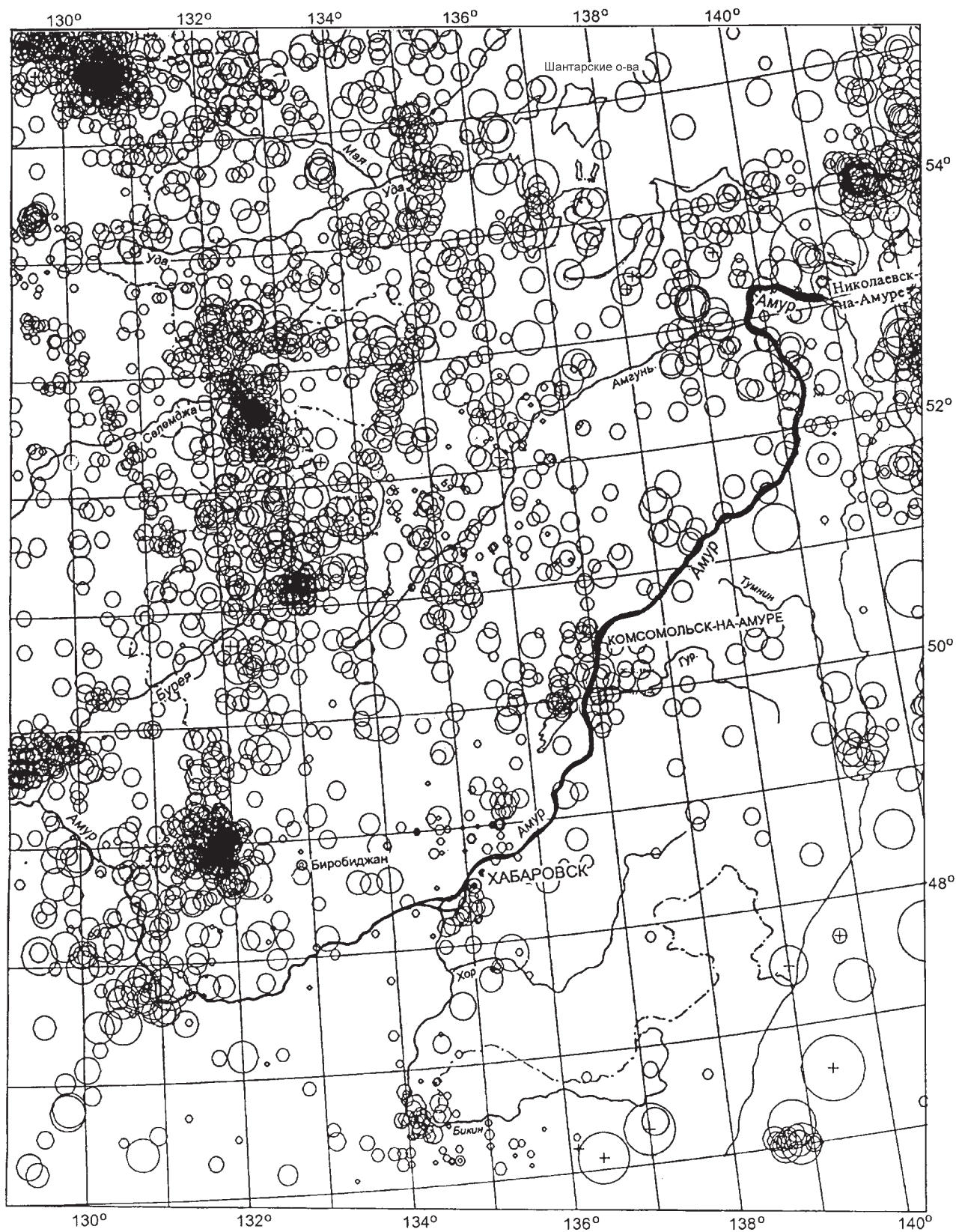
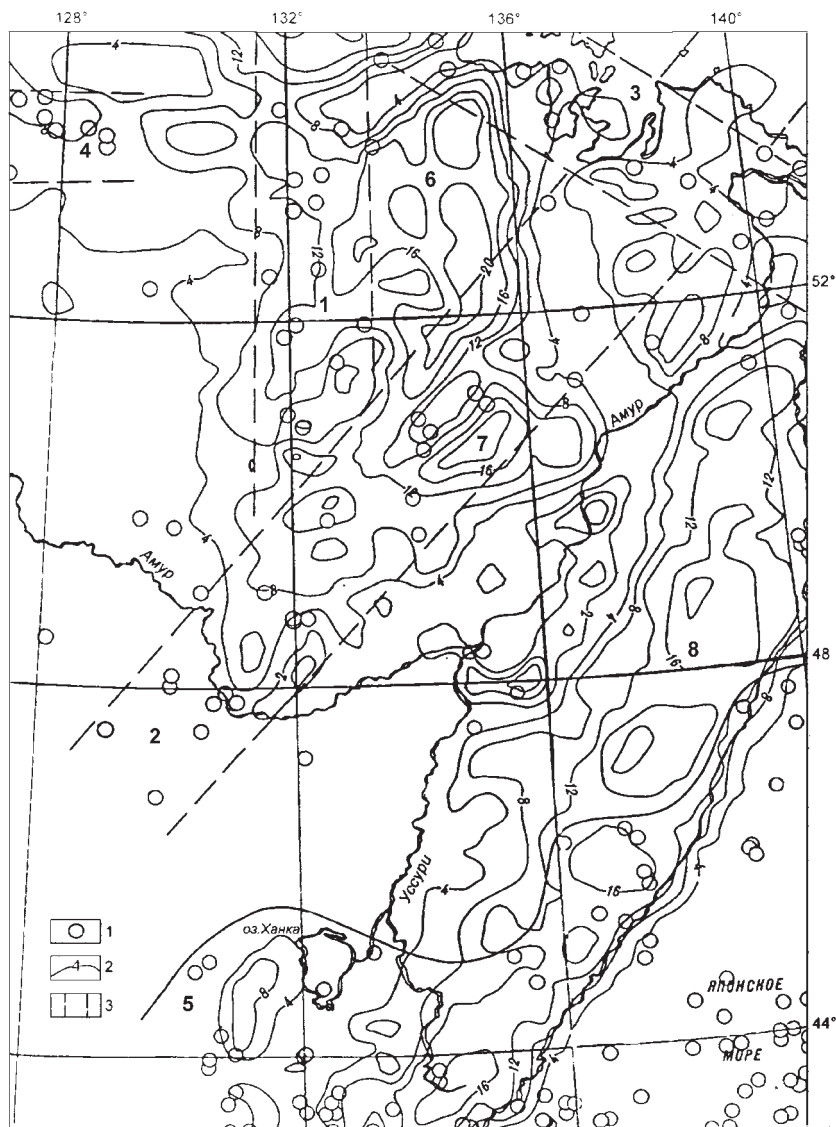


Рис. 2. Схема эпицентров землетрясений юга Дальнего Востока России.  
Диаметр окружностей пропорционален энергетическому классу землетрясений.



**Рис. 3.** Сейсмические зоны и блоковая делимость земной коры юга Дальнего Востока России.

- 1) Эпицентры землетрясений с  $M > 3.3$ .
- 2) Изолинии осредненных амплитуд вертикальных движений (шаг=25 км).
- 3) Сейсмические пояса, зоны, ареалы, асейсмичные окна:
  - 1) Северная часть Алдано-Желтоморского пояса,
  - 2) Северо-восточный фрагмент пояса Тан-Лу,
  - 3) Майско-Амурская зона,
  - 4) Восточная оконечность Байкало-Охотского пояса,
  - 5) Хунчунь-Южноприморский ареал,
  - 6) Селемджинское окно,
  - 7) Баджалское окно,
  - 8) Сихотэ-Алиньские окна.

коры можно расценивать как свидетельство его четвертичной и современной активности, которая подтверждается расположением в этой зоне палеосейсмодислокаций [21]. Субширотная зона - восточный фрагмент Байкало-Охотского пояса - выклинивается, не доходя до  $130^\circ$  в.д. Северо-восточным ограничением района исследования является Майско-Амурская сейсмическая зона. Ареал глубокофокусных землетрясений - Хунчунь-Южноприморский пояс (рис. 3) - расположен в южной части территории [6], его северный контур является границей между областью коровых и глубокофокусных землетрясений.

#### КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ

При количественном анализе используемые данные были введены в ЭВМ в виде матриц  $24 \times 29$ , соразмерно площади исследования. Для этого в уз-

лах равномерной сетки с шагом, равным 25 км по X и Y, были сняты осредненные значения признаков (плотность разломов, амплитуды вертикальных движений, аномалии  $\Delta g$  Буге). Корреляционный анализ выявил хорошую связь ( $K \text{ корр.} > 0.5$ ) между плотностью поверхностных разломов и осредненным полем  $\Delta g$  Буге с шагом 50 км ( $K \text{ корр.} = -0.591$ ), амплитудами вертикальных движений (АВД) ( $K \text{ корр.} = -0.731$ ), плотностью разломов по космическим снимкам ( $K \text{ корр.} = 0.549$ ). Осредненное поле  $\Delta g$  Буге коррелируется с плотностью разломов по космическим снимкам ( $K \text{ корр.} = -0.6$ ), АВД имеет хорошую связь с осредненным полем  $\Delta g$  Буге с шагом 50 км ( $K \text{ корр.} = -0.777$ ) и т.д. (см. табл. 1.)

Формализованное деление исследуемой территории на группы, с относительно однородным сочетанием исходных признаков в пределах каждой, получено при обработке данных кластерным

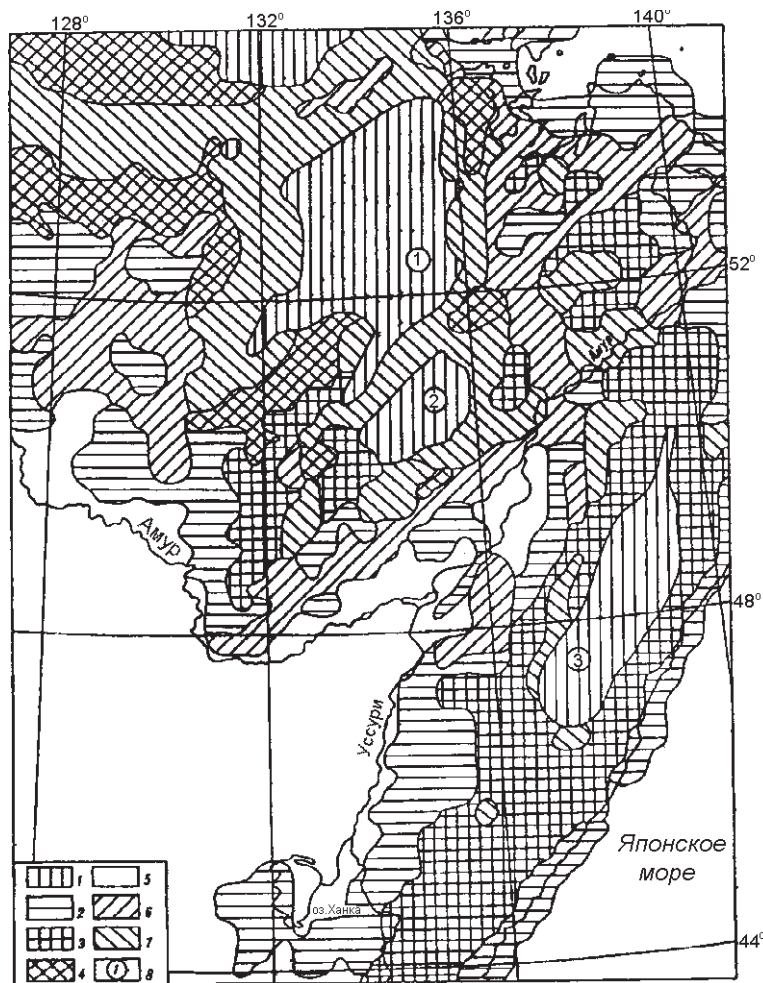


Рис. 4. Основные блоки юга Дальнего Востока России, определенные кластерным анализом.

1-7 - Номера групп, соответствующие указанным в таблице 2, 8 - Селемджинский (1), Баджальский (2), Сихотэ-Алинский (3) блоки.

анализом. [1,5,7]. Для этого введенные в ЭВМ признаки (плотность разломов, блоковая делимость, осредненное поле  $\Delta g$  Буге) подверглись автоматизированному разбиению на кластеры, используя евклидову метрику. На рис. 4 произведено разбиение четырех признаков на 7 групп, в табл. 2 приведены осредненные значения данных в пределах каждой выделенной группы. Как видно из рисунков и таблиц, весь район исследования разбит на участки различной конфигурации. Наибольший интерес представляют отчетливо выделяемые изометричные области первого кластера, соответствующие асейсмичным зонам и имеющие выражение в неотектонике. Кроме этого, границы между данными кластерами также показательны и совпадают с положением основных разломов - Тугурским, Курским, Хинганским, Сихотэ-Алинским и др. Та-

Таблица 1. Корреляционная матрица.

	A	B	C	D	E
A	1	0,416	0,349	-0,359	-0,01
B	0,416	1	0,731	-0,591	-0,169
C	0,349	0,731	1	-0,777	-0,279
D	-0,359	-0,591	-0,777	1	0,07
E	-0,01	-0,169	-0,279	0,07	1

A - плотность разломов глубокого заложения; B - плотность поверхностных разломов; C - амплитуды вертикальных движений; D - осредненное поле  $\Delta g$  Буге с шагом 50 км; E - плотность разломов по космическим снимкам.

Таблица 2. Результаты кластерного анализа (осредненные значения признаков в пределах выделенных групп).

A	B	C	D	E	F
1	187	2,4	16,9	-67,5	0,4
2	342	2,1	3,9	-9,8	0,1
3	267	2,8	12,3	-27,3	0,3
4	119	1,6	5	-43,8	0,3
5	843	0	0	-0,9	0
6	205	1,7	1,4	-16,9	0,7
7	241	2,3	9	-45	0,8

Примечание. A - номер группы, B - количество ячеек в группе. Осредненные значения в пределах группы: C - плотности поверхностных разломов, D - амплитуд вертикальных движений земной коры, E - осредненного поля  $\Delta g$  Буге, F - плотности разломов по космическим снимкам.

ким образом, разломные зоны, ограничивающие основные неотектонические поднятия, определяются кластерным анализом как первая группа (кластер) (рис. 1, 4). Области повышенной сейсмичности с  $M$  от 3.3 в общих чертах также оконтуривают области поднятия, хотя и не всегда совпадают с положением основных разломов. Так, например, субмеридиональная зона сейсмичности (см. рис. 3), по-видимому, в большей степени контролируется скрытой системой разломов, фрагментарно выраженных на поверхности.

Наиболее показательны из семи основных групп первый и седьмой кластеры, в которых отмечаются наибольшие значения одновременно нескольких признаков. В первом кластере, пространственно совпадающем с областями максимальных амплитуд неотектонических поднятий, наиболь-

шие значения имеют отрицательные аномалии Буге. В кластере 7 одновременно фиксируются повышенные значения плотности поверхностных и определяемых по космическим снимкам региональных разломов. Положение данного кластера совпадает с Монголо-Охотским, Южно-Тукурингским, Курским и Амгуньским разломами.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, в результате качественных и количественных методов анализа данных сейсмичности и неотектоники района исследований получено следующее:

1. Выделяются несколько областей неотектонического воздымания, в которых сильных землетрясений практически не зафиксировано.

2. Обновление древних разломов контролируется землетрясениями различной энергии - как слабыми, так и сильными.

3. Рои слабых землетрясений тяготеют к участкам с высокой степенью тектонической раздробленности.

4. Не все глубинные разломы имеют выражение в распределении сейсмичности, что, по-видимому, связано с различными условиями разрядки напряжений среды и природой очагов.

5. Кластерным анализом определено деление района исследования на блоки с однородным сочетанием неотектонических и других признаков в пределах каждого. При этом блоки первого порядка, выделенные по неотектоническим признакам, по кластерному анализу подразделяются на блоки второго и более высоких порядков, различающиеся по сейсмической активности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бормотов В. А., Горкуша С.В. Геолого-геофизический анализ сейсмичности восточной части Буреинского массива // Тихоокеан. геология. 1991. N 4. С.108-117.
2. Врублевский А.А. Разломы и их роль в эволюции покровно-складчатых систем Восточной Азии. М: АН СССР, 1991. 295 с.
3. Врублевский А.А., Онухов Ф.С., Корчагин Ф.Г. и др. Тектоническое районирование и глубинные неоднородности сопредельных территорий востока России и Китая // Вестн. ДВО РАН. 1996. N3. С. 7-21.
4. Геологическая карта СССР и прилегающих акваторий. 1: 2500000. Л.: ВСЕГЕИ, 1983.
5. Горкуша С.В. Изучение сейсмичности и глубинного строения Восточного Приамурья на основе кластерного анализа // Тихоокеан. геология, 1996. Т.15, N 4. С. 67-76.
6. Горкуша С.В., Малышев Ю.Ф. Глубинное строение и сейсмичность сочленения Тихоокеанского и Центрально-Азиатского поясов // Тихоокеан. Геология. 1993. N 3. С.32-51.
7. Горкуша С.В., Онухов Ф.С. Неотектоника, гравитационное поле и сейсмичность юга Дальнего Востока // Неотектоника и современная геодинамика континентов и океанов. Тез. Докл. XXIX Тектон. совещ. М., 1996. С. 37.
8. Землетрясения в СССР 1970-1990 г.г. М.: Наука, 1976-1993.
9. Карта разломов территории СССР и сопредельных стран. 1: 2500000. М.: Аэрогеология, 1980.
10. Каталог землетрясений Мира 1928-1986 (PDE USCGC-USGS) США, 1987.
11. Корчагин Ф.Г., Онухов Ф.С. Современная геодинамика юга Дальнего Востока // Закономерности строения и эволюции геосфер. Материалы II Междунар. науч. симпоз. Хабаровск, Приамурское ГО. 1994. С. 81-83.
12. Космогеологическая карта СССР. 1: 2500000. М.: Аэрогеология, 1985.
13. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. М.: Наука, 1977.
14. Онухов Ф.С. Неотектоника Северного и Северо-западного Приохотья: Автореф. дис. канд. геол.-минер. наук. Хабаровск: ИТиГ, 1976. 26 с.
15. Онухов Ф.С. Методика изучения неотектонических нарушений активной континентальной окраины (на примере Приохотья и Приамурья) // Тектоника, энергетические и минеральные ресурсы Северо-Западной пачифики. Тез. докл. Междунар. Симпоз.. Хабаровск: ИТиГ ДВО, 1989. С. 46-47.
16. Онухов Ф.С., Врублевский А.А., Корчагин Ф.Г. Взаимоотношение неотектонических и мезозойских структурных элементов Нижнего Приамурья // Закономерности строения и динамики планет земной группы: Тез. докл. Междунар. Симпоз. Хабаровск: ИТиГ ДВО, 1989. С. 93-94.
17. Онухов Ф.С., Корчагин Ф.Г. Неотектонические дива-структуры Нижнего Приамурья // Тектоника и металлогения зон активации (структур-дива). Часть I. Тектоника и магматизм: Тез. докл. II Междунар. Симпоз. Благовещенск: АмурКНИИ ДВО, 1991. С.79-91.
18. Онухов Ф.С., Корчагин Ф.Г. Методика анализа тектонической расчлененности для оценки геоморфологического риска (на примере Юга Дальнего Востока России) // Геоморфологический риск. Тез. докл. II чтения памяти Н.А.Флоренсова. Иркутск: ИЗК СО, 1993. С.37-38.
19. Парфенов Л.М., Натальин Б.А. Закономерности строения и тектоническая эволюция мезозойских и кайнозойских складчатых систем на северо-западе Тихоокеанского обрамления // Геология и геофизика. 1981. N7. С.3-15.
20. Саньков В.А. Глубины проникновения разломов. Новосибирск: Наука СО, 1989. 136 с.
21. Сейсмогеология и сейсмическое районирование Приамурья // Николаев В.В., Семенов Р.М., и др. Новосибирск: Наука, СО, 1985. С.12-19.

22. Сорокин А.П., Онухов Ф.С. Морфоструктурное районирование // Золотоносные структурно-вещественные ассоциации Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 1997. С. 66-72.
23. Уфимцев Г.Ф. Тектонический анализ рельефа (на примере Востока СССР). Новосибирск: Наука СО, 1984. 182 с.
25. Vrublevsky A.A., Onukhov F.S., Korchagin F.G. Geodynamics of main disjunctive of Lower Priamurie in the Meso-Cenozoic // 29 th Intern. Geol. Congr. Abstract volume. Japan: Kyoto, 1992. Vol. 1/3. P.144.

*Поступила в редакцию 31 июня 1998 г.*

*Рекомендована к печати Ю.Ф.Мальшевым*

***S. V. Gorkusha, F.S. Onukhov, F.G. Korchagin***

### **Seismicity and neotectonics of the Russian Far East South**

The paper considers the main peculiarities of neotectonic structure in relation to distribution of epicentral field in the Russian Far East South. For this purpose the authors have analysed the distribution of earthquake epicentres  $M \geq 1.8$  and  $M \geq 3$ , the average Bouguer  $\Delta g$  field with 50 km step amplitudes of the vertical neotectonic movements, densities of the surface ( $H \leq 5$  km), crustal ( $H \leq 30$  km) and also regional faults obtained by deciphering the aero- and satellite images. Based on the cluster analysis the unconventional division of neotectonic blocks of the first order into the blocks of higher orders which differ by seismic activity, is presented. It has been shown that the zones of increased and high seismicity are not in all cases related to activation of deep-seated faults. Locations of certain seismogenic zones correlate weakly with the neotectonic peculiarities displayed in modern relief, and apparently are related to the deep processes occurring in the lower crust.