Д. В. ЛОПАТИН, А. А. ЗИМОВ, А. В. ЖУРАВЛЕВ, О. М. АНТОНОВ, С. В. СКОСЫРЕВ, М. В. ПОКРОВСКАЯ (ВСЕГЕИ)

НОВЕЙШАЯ ГЕОДИНАМИКА ЮЖНОЙ ЧАСТИ СИХОТЭ-АЛИНСКОГО ОРОГЕНА ПО ДАННЫМ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ И СЕЙСМИЧНОСТИ

На основе цифровой обработки многозональных космических снимков и аэрофотоматериалов высокого пространственного разрешения, полевых работ 1991—1995 гг. и статистической обработки имеющихся данных построена серия карт и схем, раскрывающих современные геодинамические условия южного Сихотэ-Алиня.

The investigation has been carried out on the basis of territorial geologo-geographical information system in land – utilization at scale 1:50 000. Digital massifs of stereopairs of space area images and the relief digital model along with, the data of the author's observations, funds and literares materials have been used as a basis for this System.

The paper deals with the problems of modern and potential seismisity of the region with the data about active faults obtained by means of the gravitational field analysis, about morphometry according to the relief model, about deciphering of space images in visual and numerical regimes, generalization of information on Active faults in field work. Among them are the methods of nuclear geophysios and hydrogeological explorations. Paleoseismical potential of the region has also been studied. Maps of relief energy, block structure, recent tectonics, anomal gravitational field and integrated seismic zoning have been made. Diagrams of recurrent heavy earthquakes of magnetude more than 5.5, have been plotted. Using the given data as the base we can infer that it is necessary to reconsider construction standards in favour of increasing potential area seismisity from magnetude 6 up to 7–8.

На протяжении последних лет авторами был собран и статистически обработан материал по проявлению сильных (более 5,5 баллов) землетрясений. Установлена связь с энергией рельефа, морфотектоникой, активными разломами и глубинным геологическим строением. Изучены сейсмические свойства горных пород, проведена зональность потенциальной сейсмичности территории.

Для наиболее эффективной обработки материала работа строилась на базе создания территориальной тематической информационной системы с использованием цифровых моделей местности и рельефа. В их основу были положены стереопары космических снимков. При формировании информационной системы использован принцип классического страноведения, когда все природные и экологические данные, от особенностей климата до глубинного геологического строения, выстраиваются в виде многослойной системы пространственно совмещенных между собой данных [9].

Район исследования расположен в низкогорной, но энергично расчлененной южной части Сихотэ-Алиня и охватывает прибрежную область погружения горного рельефа под воды залива Петра Великого в бассейнах рек Киевка, Партизанская, Литов-ка, Волчанка и Промысловка.

Согласно предшествующим геологическим исследованиям, район относится к сейсмически активной области [2]. Землетрясений с силой более 5,5 баллов здесь было не менее 20. Наиболее разрушительные характеризовались магнитудами 6—7,5. Все они мелкофокусные, с гипоцентрами, располагающимися на глубинах 2—15 км. В то же время подавляющее количество зарегистрированных землетрясений в регионе являются глубокофокусными. Они не опасны для местной цивилизации и поэтому выпадают из сферы нашего рассмотрения.

В пределах характеризуемой площади за последние 60 лет было четыре разрушительных землетрясения: в 1933, 1962, 1967 и в 1971 гг. Эпицентры их располагались в районе г. Партизанска. Все землетрясения сопровождались сейсмодислокациями. Сведения о более древних землетрясениях весьма фрагментарны. О них упоминается в съемочных отчетах «Приморскгеологии» и в единичных статьях

Новые данные о сейсмическом потенциале местности нами были получены в результате полевых наблюдений 1991–1995 гг., систематизации имеющихся материалов по землетрясениям и ком-

плексного системного анализа аэрокосмических изображений в визуальном и цифровом режимах.

Особое внимание было уделено анализу рельефа, рассматриваемому нами в качестве основного фактора, влияющего на инженерно-геологические условия местности, с одной стороны, и как индикатора активных новейших и современных геодинамических процессов, с другой. В качестве исходного материала использовались снимки высокого пространственного разрешения (КФА-1000 и спектрозональные АФС). На основе цифровой обработки стереопар съемок 1992, 1993 гг. была получена цифровая модель рельефа (ЦМР) м-ба 1:50 000. Все операции с изображениями и последующее получение тематической территориальной информационной системы (ТТИС) производились на графической вычислительной технике.

В процессе компьютерной обработки цифровой модели рельефа исходного масштаба 1:50 000 были получены следующие результаты. Общая степень расчленения рельефа земной поверхности определяется здесь направленностью и интенсивностью проявления новейших тектонических движений, способствующих созданию сильно и глубоко расчлененного низкогорного рельефа с редкими фрагментами поверхностей выравнивания и структурных равнин, сложенных платобазальтами. Для территории Приморья характерен сложный состав геологического субстрата, который достаточно сильно влияет на характер расчлененности в зависимости от прочностных свойств состава тел геологических формаций. По этой причине наиболее достоверные выводы о характере проявления новейшего тектогенеза могут быть сделаны для структур с одинаковым вещественным составом пород.

Для выявления морфотектонических закономерностей традиционно используются суммарные показатели вертикального и горизонтального расчленения рельефа. Вертикальная расчлененность может быть охарактеризована с помощью анализа глубин местных базисов эрозии, относительных превышений рельефа в пределах заданной окрестности ($\Sigma \Delta H/P$), величин углов наклона однородных участков земной поверхности, определения энергии рельефа и, наконец, рассматривается как разность потенциалов силы тяжести. Горизонтальная расчлененность определяется густотой гидросети, то есть количеством и длиной водотоков (L) на единицу площади ($\Sigma L/P$, где P — площадь окна осреднения).

Для автоматического вычисления значений расчлененности рельефа представляется целесообразным заменить алгебраическое суммирование линейных величин отношением площадных величин: площади истинной поверхности рельефа и площади ее проекции на плоскость. Это отношение принимается равным коэффициенту расчленения К. При дискретной цифровой модели рельефа данный коэффициент определяется для каждой точки как

$$K(x, y) = \frac{S_{n}(x, y)}{S(x, y)},$$

где S(x, y) — площадь рельефа, $S_n(x, y)$ — площадь его проекций на плоскость, относимые к точке (x, y) — центру круглого окна осреднения. Таким образом, коэффициент расчленения K(x, y), рассчитанный по цифровой модели рельефа, равен среднему значению косинусов углов склонов в пределах заданной окрестности:

$$K(x, y) = \cos \alpha = \frac{\sum_{i=1}^{n} \cos di(x, y)}{n},$$

где α — угол склона (от 0 до 90°), соз α — среднее значение косинусов углов склонов, n — количество азимутов вычислений, K(x, y) < 1 > 0.

Максимальные значения $K(x, y) \le 1$ соответствуют плоским, слабо расчлененным низменностям в приустьевых частях долин, где значение K(x, y) фактически обратно пропорционально естественной интенсивности расчленения. По этой причине коэффициент K(x, y) преобразован таким образом, чтобы его максимальные значения соответствовали максимальной расчлененности рельефа. В итоге коэффициент расчлененности $K_p(x, y)$ определяется как

$$K_{\rm p}(x, y) = 10(1 - K(x, y)) = 10\left(1 - \frac{1}{\cos\alpha}\right);$$

Значения коэффициента K_p определены для территории площадью 37,6 \times 66,8 км, при радиусе окна осреднения в 1 км.

Согласно вышеприведенным построениям, определившим площадную дифференциацию энергии рельефа, была проведена классификация, в результате чего построена схема блокового строения местности (рис. 1). На ней четко оконтурены три крупных новейших блока: Вангоуский, Таудеминский и Сучанский. Они достаточно хорошо коррелируют с блоками мезозойской тектоники, что показывает мало оцененную пока роль субстрата в морфотектоническом процессе.

На севере Таудеминского блока отчетливо выделяются линейные зоны северо-восточного простирания, ограничивающие морфотектонические ступени.

Первая зона (1-1) простирается в субширотном направлении от устья р. Бол. Рудневка до верховий р. Падь Шушарина, отделяя поднятие массива г. Горбуша от пассивно погружающейся области Душкинского перевала (по центру, сверху).

Вторая зона (2-2) прослеживается от бухты Тинкан до устья р. Падь Шушарина, левого притока р. Волчанка, резко ограничивая северо-западный борт Павлиновского массива (запад площади), продолжаясь в северо-восточном направлении от урочища Красная Горка до среднего течения р. Правая Литовка. Зона маркирует границы области новейшего опускания, включающую в себя долины рек Литовка, Кирилловка и Правая Литовка, пади Общественная и Волчанецкая.

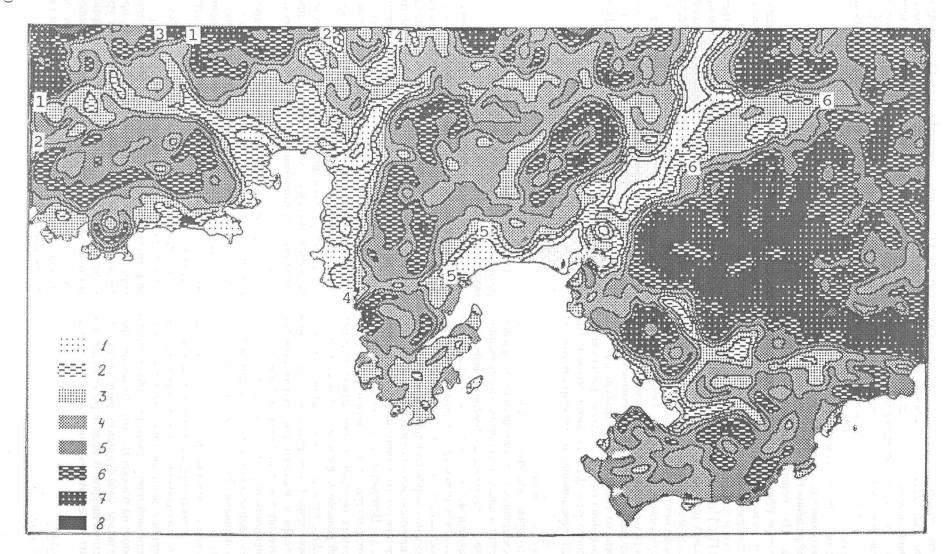


Рис. 1. Карта энергии интенсивности рельефа окрестностей городов Находка и Партизанск:

I — области интенсивного погружения; 2 — области менее интенсивного погружения; 3 — нулевые значения энергии рельефа, стабилизированные блоки; 4 — слабоподнимающиеся блоки; 5 — блоки с различной степенью интенсивности поднятия (от среднего до очень интенсивного за период новейшего тектогенеза)

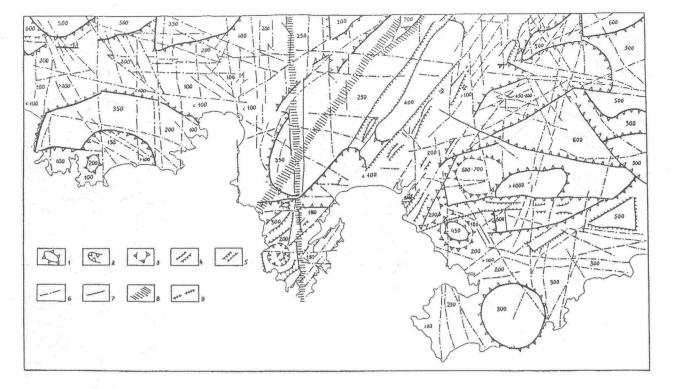


Рис. 2. Схема блокового деления территории в период новейшего тектогенеза:

I— границы разновысотно поднятых блоков; 2— границы блоков депрессионного типа; 3— границы блоков, выделяемые по аномальным зонам энергии рельефа; 4— границы внутреннего деления крупных блоковых поднятий; 5— грабен-долины; 6— разрывные нарушения: 6— новейшие разломы, 7— активные разломы, 8— разломы с фиксированной термальной активностью, 9— разломы с отмеченной геохимической активностью. *Цифры на схеме*— высоты поднятия блоков относительно базиса эрозии (м)

Третья зона (3-3) направлена практически перпендикулярно к двум предыдущим и контролируется направлением правого притока р. Падь Шушарина (севернее р. Волчанка), тыловыми швами северо-восточных склонов г. Могила и образованными уступами побережья бухты Средняя и м. Пущина. Таким образом, для Таудеминского блока анализ интенсивности расчленения выявляет своеобразную неотектоническую структуру «шахматной доски» (рис. 2), что характерно для всей исследуемой территории.

По восточному побережью залива Восток четко фиксируется прямолинейная граница Топаузской депрессии (рис. 1, 4-4), что позволяет предположить ее дизьюнктивную природу, а депрессию рассматривать как погружающийся блок, большая часть которого опущена ниже уровня моря (залив Восток). Зона слабого эрозионного расчленения отделяет южную часть п-ова Трудный, максимально проявляясь в районе озер Гнилое и Соленое в черте г. Находка. Граница зоны проходит между озерами и имеет северо-восточное простирание (5-5).

Для Таудеминского блока (рис. 3, *A*) зоны слабого эрозионного расчленения отвечают выраженной в виде «клина» Ольгинской депрессии (рис. 1, 6-6) и Мананкинско-Краковскому поясу новейших опусканий (рис. 3, 10-1). Областью активного эрозионного расчленения является массив г. Черный Куст, испытывающий интенсивные поднятия (рис. 3, 10-2-2).

Важным фактором при оценке сейсмичности, определяющим инженерно-геологический потенциал местности, кроме блокового деления являются энергия рельефа [5], структура линеаментного поля, наличие градиентных зон изменения гипсометрического положения вершинной поверхности, зон и «окон» дробления горных пород и др. В результате учета всех этих факторов и данных специальной обработки гравитационного поля (рис. 4) была смоделирована схема инженерно-сейсмического ожидания (рис. 5). На ее основе и основе карты активных разломов для всей территории бывшего СССР в масштабе 1:8 000 000 [3], а также схемы неотектонического районирования исследуемой территории (рис. 3) в масштабе 1:50 000 удалось выявить, что наиболее значимым в регионе является Главный Сихотэ-Алинский разлом. С ним и оперяющими его разломами связана воднотермальная активность, проявление секущих молодых диабазовых даек и наличие в районе пос. Кишеневка (низовья р. Киевка) крупного блока одноактного отседания с прислоненными к нему несколькими аккумулятивными террасами (максимальной высоты 25-30 м) плейстоцен-голоценового возраста. Севернее, на трассе разлома, зарегистрировано несколько сильных землетрясений, последнее из которых произошло в июле 1995 г. Максимальные достигали 10 баллов (магнитуда 7,5).

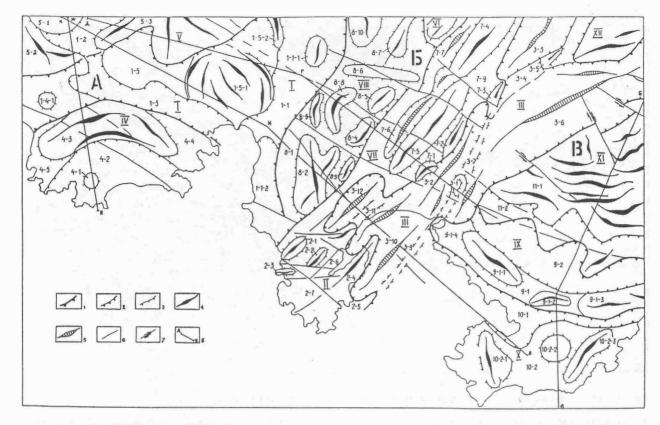


Рис. 3. Схема новейших тектонических структур.

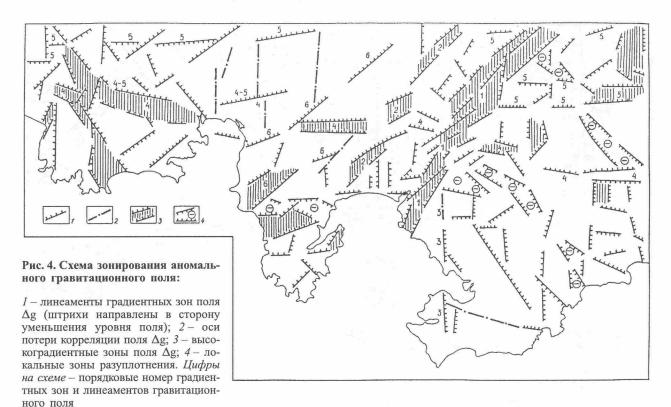
Блоки: A — Таудеминский, B — Сучанский, B — Вангоуский. I — границы блоков разного ранга: I — новейших деформаций, 2 — отдельные структуры внутри блоков, 3 — локальные структуры внутри блоков и отдельных структур; 4, 5 — оси деформаций: 4 — поднятий, 5 — опусканий; 6 — разломы со сдвиговыми константами; 7 — сдвиги; 8 — линии профилей. U —

Есть ряд свидетельств, позволяющих относить к активным и два субпараллельных Киевскому – региональные Ратный и Сучанский разломы (рис. 6, 1, 12).

Ратный разлом (0–30° CВ) приурочен к шовной зоне неравновесных Вангоуского и Сучанского блоков. Первый сложен метагабброидами палеозоя, второй — терригенно-осадочными породами мезозоя. Зона сопровождается мощной ступенью гравиметрического поля. В пределах трассы разлома наблюдаются взбросо-сдвиги, открытые водоносные трещины и несколько структур, по внешним признакам напоминающих сейсмодислокации.

Сучанский разлом (15–30°) субпараллелен Ратному и контролирует, в отличие от Ратного, правый борт долины Партизанской. Его характеризуют кулисообразно расположенные короткие ступени в гравиметрическом поле. Разлом сопровождается тектоногенным уступом высотой 300–400 м, серией субпараллельных основной трассе разлома грабен-долин, клиньев выжимания (форбергов) и новейших клавишных структур. В пределах разломной зоны, шириной не менее 3 км, зарегистрировано несколько сильных землетрясений 6–7,5 баллов, сопровождаемых сейсмодислокациями.

По данным дешифрирования КС высокого пространственного разрешения, специальных обработок цифровой модели рельефа, полевых структурно-геологических съемок выявлено несколько активизированных мезозойских разломов. Они хорошо геологически документируются и представляют собой тектонические нарушения с крутопадающим сместителем (под углом 70-80°) и проявлены как зоны дробления пород, часто с зеркалами скольжения, кварцевыми прожилками и т. п. Значительная часть этих разломов является древними (в основном киммерийско-раннеальпийскими) образованиями и слабо проявлена в морфотектонике. Для некоторых разломов установлена их современная раскрытость (по наличию в них родников и других водопроявлений), гидрохимическая активность (по биогеохимическим и гамма-спектрометрическим аномалиям подвижных элементов, Sr, K, Fe, Mn). Такие разломы, скорее всего, являются «обновленными» во время позднеальпийского и новейшего тектогенеза и могут быть сейсмически активными. Они не представляют собой крупных региональных образований, за исключением Находкинского субмеридионального разлома, но имеют важнейшее инженерно-геологическое значение (рис. 6, 9).



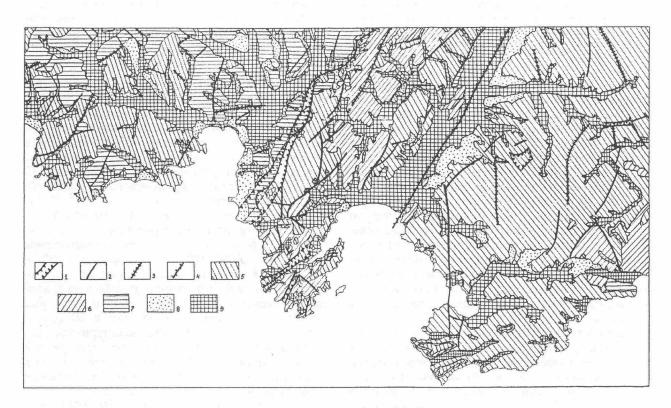


Рис. 5. Схема сейсмических свойств геологических комплексов:

I— зоны тектонического дробления; 2— разломы; 3— раскрытые разломы; 4— границы структурно-формационных зон; 5—9— распределение сейсмических свойств геологических комплексов по прочности: 5— наиболее благоприятные для строительства, 6— благоприятные, 7— слабоустойчивые, 8— неустойчивые, 9— наименее устойчивые (8 и 9— области приращения балльности из-за обводненности и рыхлой консистенции)

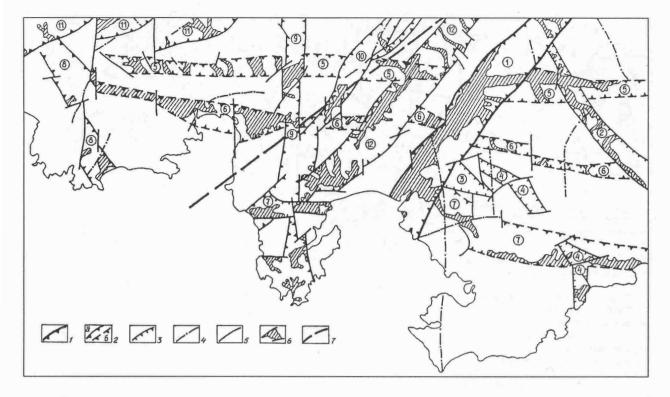


Рис. 6. Схема зонирования сейсмологического ожидания:

I — высокоградиентные зоны поля приращения Δg , совпадающие с региональными активными разломами; 2 — зоны активных разломов, выделенные по косвенным признакам (a), предполагаемые (b); 3 — морфотектонически выраженные зоны разуплотнения; 4 — открытые разломы, выделенные по комплексу данных; 5 — прочие разломы, смещающие зоны и активные разломы; 6 — участки потенциально сейсмичных волн с неблагоприятными свойствами; 7 — среднее положение сейсмофокальной зоны. U — U

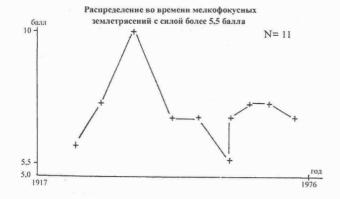
Заслуживает внимания мощная субширотная зона, выявленная исключительно по данным дешифрирования и морфометрии (по анализу цифровой модели рельефа). Она контролирует морфотектонический уступ Ливадийского хребта, южное окончание Партизанского хребта, седловину между ними и новейшим горстом массива с г. Черный Куст, эмбриональные плейстоцен-голоценовые депрессии его предгорной зоны и верховьев р. Кривая. На отдельных участках зону контролируют ступени гравиметрического поля, открытые водоносные и другие геологически документируемые разломы, а также мощные коры выветривания. В пределах зоны пересечения с Сучанским разломом находятся следы крупнейших задокументированных землетрясений (г. Партизанск, рис. 5, 5, 12).

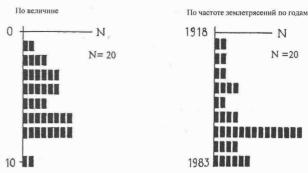
Анализ карты распределения землетрясений в пределах характеризуемой площади показал, что все зарегистрированные с 1918 по 1983 г. сильные и слабые мелкофокусные землетрясения компактно укладываются в некую сейсмофокальную зону с осью, проходящей по линии с координатами $B=42\,^{\circ}$ с. ш., $L=131,82\,^{\circ}$ в. д. $-B=44\,^{\circ}$ с. ш., $L=134,04\,^{\circ}$ в. д., примерно по долине р. Литовка (рис. 5, 1). Зона погружается на северо-восток под углом 1,7° (глубина ее залегания в районе хр. Лозового 6,5 км). Сила землетрясений, очаги которых приурочены к этой зоне, убывают с юга на север.

Ширина ее достигает 50 км. Средняя линия сейсмофокальной зоны (центр тяжести) точно совпадает с границей Таудеминского и Сучанского блоков. Области сгущения сильных землетрясений 5,5—10 баллов наблюдаются на трассах активных разломов в пределах ее влияния. На трассе зоны находится мощный форберг (клин выжимания), образующий пластину хр. Лозового, сложенного пермскими известняками.

В пределах сейсмофокальной зоны можно выделить две группы землетрясений: с силой до 5,5 балла и более. Для второй группы характерны два максимума в 1940 г. (10 баллов) и в 1971 г. (7,5 балла). Картина распределения сильных землетрясений по баллам и времени показана на графиках. На первом графике отчетливо видны два пика активности, приходящиеся на 30-е и 60-70-е гг. Примерно к этим же временным интервалам приурочена и наибольшая частота землетрясений в Южном Приморье (1928–1940 и 1960–1976 гг.). Если рассматривать только наиболее опасные мелкофокусные землетрясения, то отмечаются несколько иные максимумы их частоты: 1948–1950, 1962-1971, 1976 и 1982-1983 гг. Все эти закономерности показаны на других графиках.

Как видно из приведенного материала, статистических данных для прогнозирования времени грядущих землетрясений недостаточно. В то же





время не исключается возрастание сейсмической активности в период с 1996 по 2010 г.

Фактором, влияющим на приращение балльности, является инженерная характеристика геологических формаций. Литолого-петрографический состав субстрата, отраженный в формационном составе, в значительной степени определяет проявление землетрясений на дневной поверхности [4]. По прочностным свойствам пород и степени дифференцированности этих свойств выделяются 10 групп геологических формаций (рис. 5, табл. 1, 2).

Наиболее удачным сочетанием инженерных свойств характеризуются интрузивные (гранитоидная, габброидная и ультрамафитовая) формации, а также метаморфическая, эффузивная, базальтовая, карбонатно-терригенная, терригенно-биогермно-турбидитная, терригенная турбидитная и терригенная шельфовая формации. Для каждой форма-

ции определяются приращения сейсмической балльности (табл. 3) в зависимости от петрофизических свойств слагающих ее горных пород. Для рыхлых отложений вводится также приращение сейсмичности на увлажненность (глубину залегания грунтовых вод). При этом за исходную балльность землетрясения принята максимальная, наблюдавшаяся в исследуемом районе (7 баллов). Следует отметить, что для ряда формаций сейсмические свойства могут значительно варьировать в зависимости от таких параметров, как обводненность (влажность), рельеф, характер подстилающих отложений и др. По приращениям балльности установлено пять групп геологических условий, включая характерные зоны дробления, повышенную увлажненность и т. д., области развития которых и отражаются на прилагаемой схеме (рис. 5).

Данные современной и потенциальной сейсмичности территории, примыкающей к южным

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД

Временное Название породы Плотность, г/см³ Пористость, % Влагопоглощение, % сопротивление сжатию, МПа * Известняки 2.73 - 2.750.50 - 2.900.20 - 2.7228-140 (10-58) Песчаники 2,63-2,702,00-4,20 0.08 - 1.7431-129 Песчаники угленосной формации 2,03-2,68 0.08 - 2.802,00-8,00 80-129 (63-99) Алевролиты и аргиллиты терригенных 2,57 14,00-30,00 20-50 формаций Аргиллиты и алевролиты терригенно-1,00-24,00 25-40 вулканогенных формаций Песчаники, туфы, порфириты терригенно-2,32-2,66 80-130 (60) вулканогенных формаций Порфиры и порфириты эффузивных фор-2,68 - 2,840,31-2,230.10 - 1.06109-205 (105-167) маший Базальты и андезиты: массивные 2,78-2,91 0,30-14,50 0.05 105-688 пористые 2,77 - 2,8725,0-49,0 до 5,6 20-81 Гранитоиды: выветрелые 2,66-2,68 1,10-3,70 0,42-0,63 до 60 невыветрелые 2,67-2,77 0,03-0,04 0,28-0,52 90 - 147Габброиды 2,81 до 0,35 0,30-0,54 68-100

ТАБЛИЦА 1

^{*} В скобках указаны свойства пород во влажном состоянии.

СВОЙСТВА ПОРОД ТЕРРИГЕННО-КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ НОВЕЙШИХ ФОРМАЦИЙ

Порода	Плотность, г/см ³	Пористость, %	Естественная влажность, %	Предел текучести, %
Пески	2,61–2,74	31–47	6–26	_
Суглинки	2,56-2,73	34-47	18–29	26–38
Дресвяно-супесчаные отложения	2,64–2,70	_	16–28	· -

ТАБЛИЦА 3

ПРИРАЩЕНИЕ БАЛЛЬНОСТИ

Группа по сейсмическим свойствам	Индексы формаций	Максимальное приращение балльности	
1	EFb, EF1, M, GR, HB, UM	0,0-0,5	
2	TV, TC, CT, BG, TBG, TG, EFb	0,6–1,0	
3	ET, TU, TNS, TS, TCNS, зоны дробления	1,1-1,5	
4	TKfh, TMq, TK	1,6–2,5	
5	TKfl, TKf, TH, TMq	2,6–3,0	
	по сейсмическим	по сейсмическим свойствам Индексы формаций 1 EFb, EF1, M, GR, HB, UM 2 TV, TC, CT, BG, TBG, TG, EFb 3 ET, TU, TNS, TS, TCNS, зоны дробления 4 TKfh, TMq, TK	

городам Приморья: Находка, Тихоокеанский, Большой Камень, Дунай и др., геолого-тектонических условий ее проявления позволяют ставить вопрос о внесении в строительные ГОСТы необходимых изменений в сторону увеличения потенциальной балльности до 7–8 баллов для этих районов. Кроме того, необходимо провести здесь микросейсморайонирование с целью уточнения мест, где увеличение потенциальной балльности целесообразно.

- 1. Атлас землетрясений СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
- 2. *Берсенев П. П.* Сейсмичность // Геология СССР. Т. 32. М.: Недра, 1969. С. 611–612.
- 3. Карта активных разломов СССР и сопредельных территорий масштаба 1:8 000 000 / Отв. ред. В. Г. Трифонов. М.: ГИН, 1987.

- 4. Ландер А. В., Штейнберг В. В. Землетрясение 18 октября 1989 г. в Северной Калифорнии // Комплексная оценка сейсмической опасности. М.: Наука, 1991. С. 76–87.
- 5. Лопатин Д. В. Картографирование энергии рельефа и инженерная оценка несущих свойств поверхности по стереопарам космических изображений Приморского края // Инженерно-географические проблемы современности. СПб., 1995. С. 115–116.
- 6. Медведев С. В. Инженерная сейсмология. М., 1962. 284 с.
- 7. Рынков В. С., Кулинич Р. Г. К вопросу о сейсмическом районировании территории Приморского края. Инф. сб. Вып. 4. № 7. Владивосток: Примгеология, 1971.
- 8. Филипас С. Ф. О некоторых закономерностях сейсмической активности северо-западной части Тихоокеанского подвижного пояса // Вопросы геоморфологии и морфотектоники южной части Дальнего Востока. Владивосток: Дальневосточное книжное издательство, 1965. С. 136–143.
- 9. Финляндия / Ред. Д. Н. Кожевников и А. А. Борисов. М.: Изд-во иностр. лит., 1953. С. 538.