

НОВЕЙШАЯ БЛОКОВАЯ АКТИВИЗАЦИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ И СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИИ ВЕРХНЕГО ПРИАМУРЬЯ (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК)¹

Известно, что современный рельеф земной поверхности создан преимущественно неотектоническими движениями земной коры. При этом, на наш взгляд, в формировании основных орографических единиц преобладают блоковые движения земной коры, так как деформированию подвергается в основном жесткая консолидированная геофизическая среда. В то же время и сейсмический процесс в земной коре является следствием ее деформирования под действием тектонических сил. Поэтому-то формирование тектонического рельефа в некоторых случаях сопровождается землетрясениями. Этим вопросам в свое время большое внимание уделял Н. А. Флоренсов [2]. В настоящем сообщении предпринята попытка, с одной стороны, выяснить взаимоотношения рельефа земной поверхности с сейсмичностью, а с другой, на основании этих взаимоотношений, установить степень сейсмической опасности территории. В качестве объекта исследований выбрана территория Верхнего Приамурья на Дальнем Востоке.

Рассматриваемая территория представляет собой сочетание горного и равнинного рельефа. Центральное место на ней занимают горные хребты Тукурингра и Соктахан. К северу и к югу от них простираются соответственно Верхнезейская и Амуро-Зейская равнины.

Хребты Тукурингра и Соктахан протягиваются в северо-западном — субширотном направлении на расстояние свыше 300 км. В крайней северо-западной части они сложены кристаллическими докембрийскими образованиями, а в остальной — палеозойско-мезозойскими осадочными и эффузивными породами и гранитоидами. Рельеф их низко- и среднегорный, причем хребты резко граничат с Верхнезейской и Амуро-Зейской равнинами по зонам глубинных разломов. Крупные долины рек Зеи и Гилоя, прорезающие поднятие, имеют antecedentный характер.

Севернее Тукурингра-Соктаханского поднятия простираются Тукурингра-Становое межгорное понижение, представленное обширной поверхностью денудационного выравнивания, и аккумулятивная равнина Верхнезейской впадины. Они расположены в зоне сочленения Монголо-Охотского пояса с протерозойской складчатой зоной Становика-Джугджура. Фундамент впадины сложен протерозойскими и палеозойскими осадочно-метаморфическими породами и разновозрастными гранитоидами. Они перекрыты мезозой-кайнозойскими осадочными толщами мощностью до 1500 м. К северу и к северо-западу фундамент впадины выходит на поверхность, абсолютные высоты которой постепенно увеличиваются от 300 до 700 м. На поверхности выравнивания широко развиты мелкосопочник и денудационные увалы высотой от нескольких десятков до первых сотен метров. Долины рек в результате новейших поднятий врезаны в поверхность выравнивания на глубину до 50—150 м.

Амуро-Зейская равнина, приуроченная к одноименной депрессии, располагается южнее хребтов Тукурингра и Соктахан. Поверхность ее характеризуется развитием аккумулятивно-денудационных форм рельефа.

Рассматриваемая территория до недавнего времени считалась практически асейсмичной. И лишь после того, как в 70-х годах здесь произошли 7—8-балльные

¹ Статья написана по мотивам доклада на Иркутском геоморфологическом семинаре, посвященном памяти Н. А. Флоренсова [1].

Тукурингское, Зейское и Огоронское землетрясения, территория была отнесена к умеренно сейсмичным [3]. Однако известно, что происшедшие когда-либо в том или ином месте сильные землетрясения далеко не всегда являются в то же время и максимальными для данной территории, слабо обеспеченной сейсмостатистикой. Поэтому для определения максимальной сейсмической опасности, помимо учета наиболее сильных из известных землетрясений, как правило, привлекаются данные о различных геолого-геофизических особенностях территории, в той или иной мере ответственных за возникновение землетрясений, в том числе максимальных.

Для определения максимальной сейсмической опасности территории Верхнего Приамурья были выполнены следующие построения. Прежде всего, по карте осредненного (тектонического) рельефа рассматриваемая территория была разделена на разномасштабные неотектонически активные блоки земной коры, как это в свое время было предложено И. П. Герасимовым [4]. Согласно разработанным им принципам морфоструктурного районирования блок — это территория, в пределах которой происходят закономерные пространственные изменения крупных элементов рельефа. Морфоструктурная однородность такого рода связана с тем, что блок объединяет территорию, подчиненную в период горообразования единому структурному плану, созданному в определенной геодинамической обстановке [5, 6].

На границах блоков происходят резкие изменения этих закономерностей. Поэтому на карте новейшей тектоники эти границы часто приурочены к зонам повышенных значений градиентов скоростей новейших тектонических движений [7]. В ряде случаев они наследуют зоны глубинных активизированных разломов (Северо- и Южно-Тукурингского, Мотовинского), хотя местами и не совпадают с ними. Кроме этого выделялись внутриблоковые границы, приуроченные к зонам обновленных локальных разломов, выраженных в рельефе либо antecedentными долинами крупных рек, либо линейно вытянутыми понижениями или перегибами в рельефе (рис. 1). Для всех блоков характерны близкие отметки вершинной поверхности, примерно одинаковые мощности земной коры [8] и скорости современных движений [9]. Следовательно, можно предположить, что каждый из них испытывает тектонические деформации как единое геологическое тело. В результате деформаций в них накапливается упругая потенциальная энергия, которая способна реализоваться в кинетическую энергию сейсмических волн при достижении предела прочности горных пород, слагающих блок. Причем количество накопившейся потенциальной энергии в блоке будет тем больше, чем больше его объем. Таким образом, каждый из блоков характеризуется своим, присущим ему сейсмическим потенциалом.

Всего на рассматриваемой территории выделено 5 блоков (рис. 1), приуроченных к хребтам Тукурингра и Соктахан. На равнинных пространствах градиентных зон нет и, следовательно, блоки, активно развивающиеся в новейший тектонический этап, отсутствуют.

На западе территории выделяется Западно-Тукурингский блок, приуроченный к западной и центральной частям хр. Тукурингра. Его протяженность около 150 км. Здесь отмечаются максимальные абсолютные высоты рельефа (более 1500 м). Вершинная поверхность оконтурена морфоизогипсой 1000 м. Внутриблоковой границей, выраженной линейно вытянутым понижением в рельефе, блок разделен на две части.

В центре рассматриваемой территории расположены Восточно-Тукурингский и Эракингрский блоки. Восточно-Тукурингский, протяженностью 50 км, приурочен к восточной части хр. Тукурингра. Его вершинный пояс ограничен изогипсой 600 м, а максимальные высоты достигают 1200 м. Antecedentной долиной р. Гилюй блок разделен на северо-восточную и юго-западную части. Эракингрский блок расположен южнее Восточно-Тукурингского и приурочен к одноименной кайнозойской впадине, заполненной рыхлыми отложениями мощностью до 50 м. Его протяженность около 60 км. Вершинная поверхность имеет отметки 400—600 м.

Восточнее antecedentного участка р. Зея расположен Соктаханский блок,

Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Верхнего Приамурья
1 — эпицентры землетрясений и их энергетический класс (К), 2 — глубина очага, (Н, км), 3 — границы: а — межблоковые, б — внутриблоковые. Заштрихованный кружок — эпицентр землетрясения по палеосейсмогеологическим данным; пунктирный — по макросейсмике

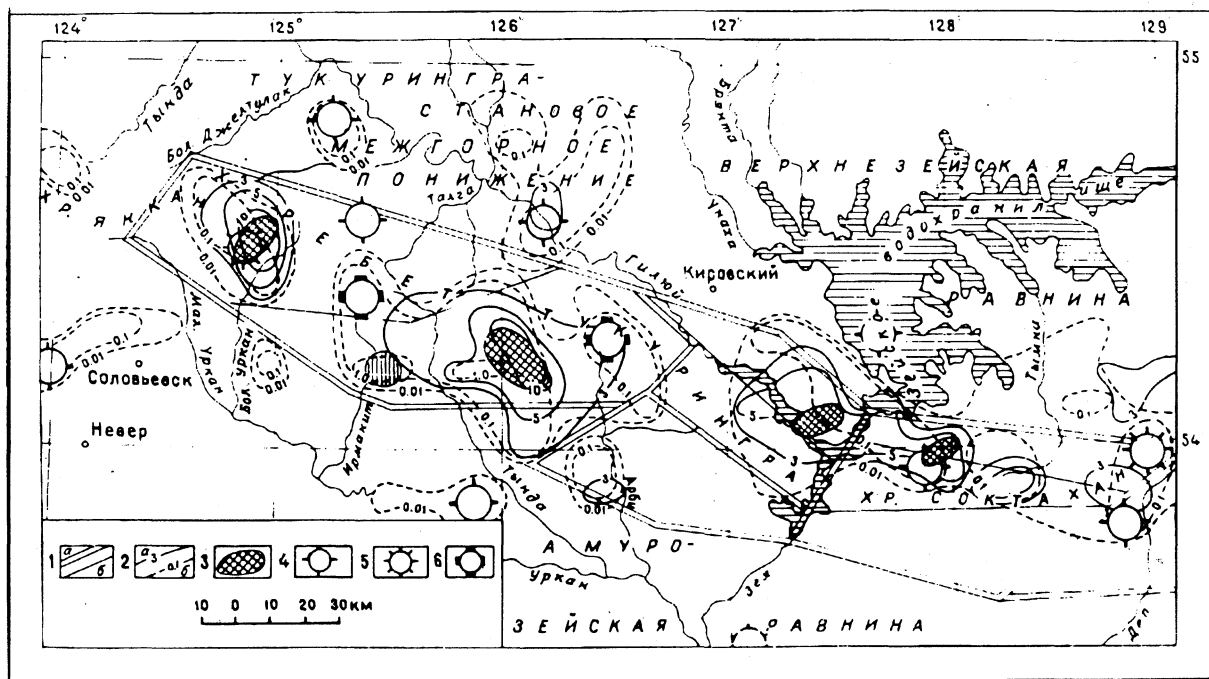


Рис. 3. Карта плотности эпицентров землетрясений внутри блоков земной коры Верхнего Приамурья

1 — границы: а — межблоковые, б — внутриблоковые; 2 — изолинии: а — плотности эпицентров землетрясений, б — энергетической «плотности» землетрясений; 3 — «сейсмические пятна»; эпицентры землетрясений и их энергетический класс: 4 — К = 12; 5 — К = 13; 6 — К = 14.

Заштрихованный кружок — эпицентр землетрясения по палеосейсмогеологическим данным; пунктирный — по макро-сейсмике

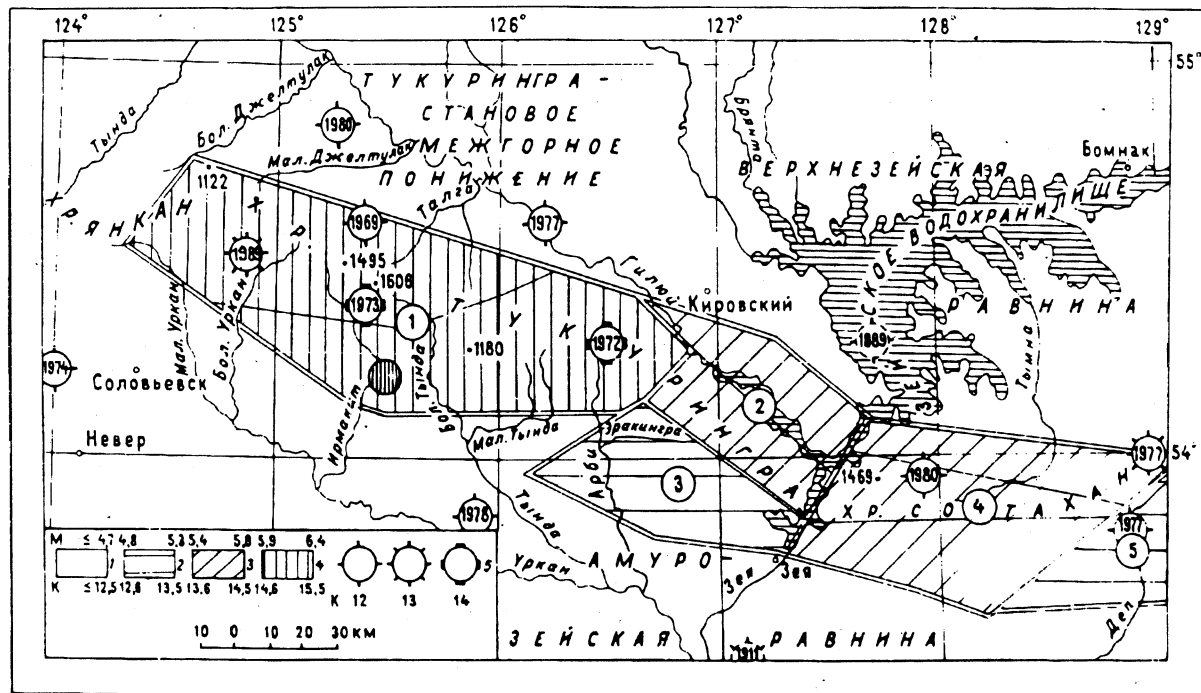


Рис. 4. Карта потенциальной сейсмичности Верхнего Приамурья

1—4 — потенциальная сейсмичность блоков земной коры (М, К); 5 — эпицентры землетрясений и их энергетический класс (К).

Цифра внутри эпицентра — год землетрясения.

Цифры в кружках 1—5 — номера блоков (см. рис. 1)

Расчет максимальных возможных землетрясений

Сейсмогенерирующие блоки	Длина сейсмогенерирующего блока (L , км)	Мощность сейсмоактивного слоя (H , км)	Максимальный размер «сейсмического пятна» (S , км ²)	Максимальный градиент скорости новейших тектонических движений ($ \text{grad}V _{gr} \cdot 10^{-8}$ год ⁻¹)	Протяженность градиентной зоны (l , км)	Градиент скорости новейших тектонических движений с учетом протяженности зоны ($\lg \text{grad}V _{m \cdot l}$)	Расчетное максимальное возможное землетрясение M (К)			Максимально зарегистрированное землетрясение M (К)	Принятое максимальное возможное землетрясение для блока M (К)
							По длине сейсмогенерирующего блока и сейсмоактивного слоя [10]	По размеру «сейсмического пятна» [11]	По градиенту скорости новейших тектонических движений с учетом протяженности градиентной зоны [12]		
1. Западно-Тукурингский	150	20	157	0,50	150	—6,125	6,4 (15,5)	6,3 (15,3)	6,4 (15,5)	6,5 (15,7)	5,9—6,4 (14,6—15,5)
2. Восточно-Тукурингский	50	20	66	0,50	50	—6,602	5,5 (13,9)	5,9 (14,6)	5,2 (13,4)	5,0 (13,0)	5,4—5,8 (13,6—14,5)
3. Эракингский	60	20	—	0,25	70	—6,757	5,5 (13,9)	—	4,8 (12,6)	5,0 (13,0)	4,8—5,3 (12,6—13,5)
4. Соктаханский	70	20	56	0,50	80	—6,398	5,6 (14,0)	5,8 (14,4)	5,7 (14,3)	5,0 (13,0)	5,4—5,8 (13,6—14,5)
5. Огоронский	40	30	—	0,25	70	—6,757	5,2 (13,4)	—	4,8 (12,7)	5,0 (13,0)	4,8—5,3 (12,6—13,5)

приуроченный к хр. Соктахан. Его вершинный пояс ограничен изогипсой 600 м, а абсолютные высоты поверхности достигают 1000 м.

И, наконец, Огоронский блок расположен между хребтами Соктахан и Джагды. Он приурочен к Огоронской наложенной котловине с мощностью кайнозойских толщ до 100 м и характеризуется наименьшими высотами вершинной поверхности (400 м). Протяженность блока около 40 км.

С целью определения сейсмической активности блоков на них были нанесены эпицентры землетрясений (рис. 2), по которым выделены изолинии их плотности и оконтурены «сейсмические пятна» (рис. 3). Здесь следует обратить внимание на одну особенность в распределении эпицентров землетрясений на рассматриваемой территории. Из рис. 2 видно, что эпицентры группируются в виде «пятен» различных размеров и конфигураций, а не вытягиваются вдоль зон разломов. На «пятнообразное» распределение эпицентров землетрясений и в других сейсмоактивных регионах Мира неоднократно обращал внимание академик М. А. Садовский, который предложил по размерам этих «пятен» рассчитывать максимальные возможности землетрясения.

Расчет максимальной сейсмической опасности территории Верхнего Приамурья выполнен по объемам сейсмогенерирующих блоков [10], размерам «сейсмических пятен» [11] и величине градиентов скоростей новейших тектонических движений с учетом протяженности градиентных зон [12] (Таблица. Рис. 4). Из таблицы и рисунка видно, что рассчитанный сейсмический потенциал некоторых выделенных блоков несколько выше, чем это можно было предположить, исходя из энергии максимальных известных здесь землетрясений. Это обстоятельство, по-видимому, нужно будет учитывать при составлении новой карты сейсмического районирования России.

Представленная карта потенциальной сейсмичности (рис. 4) несколько отличается от карты, составленной на эту территорию ранее [13]. Некоторым подтверждением обоснованности выделения сейсмогенерирующих блоков может явиться последнее ощутимое землетрясение ($K = 13,5$), происшедшее в верховьях р. Бол. Уркан, в хр. Тукурингра в 1989 году (рис. 4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов Р. М., Серебренников С. П. Рельеф и сейсмичность Верхнего Приамурья // Геоморфологический риск (Тез. докл.). II чтения памяти Н. А. Флоренсова, ноябрь 1993. Иркутск. геоморфол. семинар. Иркутск: 1993. С. 112—114.
2. Флоренсов Н. А. Неотектоника Прибайкалья в связи с его сейсмичностью // Бюлл. Сов. по сейсмол., N 10. М.: Изд-во АН СССР, 1960. С. 11—20.
3. Сейсмическое районирование территории СССР. М.: Наука, 1980. 308 с.
4. Герасимов И. П., Раницман Е. Я. Морфоструктуры горных стран и их сейсмичность // Геоморфология. 1973. N 1. С. 3—13.
5. Раницман Е. Я., Горшков А. И., Жидков М. П. Мегаблоки Большого Кавказа // Докл. АН СССР. 1984. Т. 279. N 4. С. 969—972.
6. Раницман Е. Я. Морфоструктурное районирование и некоторые вопросы геодинамики Большого Кавказа // Геоморфология. 1985. N 1. С. 3—16.
7. Семенов Р. М., Николаев В. В. О связи сейсмичности с неотектоникой Тукурингра-Джагдинского поднятия // Геология и геофизика, 1977. N 4. С. 68—76.
8. Пулинг В. В., Дитмар Г. В., Максимовский В. А., Уфимцев Г. Ф. Об использовании особенностей глубинного строения земной коры для металлогенического анализа и тектонического районирования (Дальнего Востока) // Геология и геофизика. 1976. N 9. С. 8—14.
9. Карта современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территории СССР. М-б 1 : 5 000 000. М.: ГУГК СССР, 1989.
10. Шебакин Н. В. О предельной магнитуде и предельной балльности землетрясений // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1971. N 6. С. 12—20.
11. Садовский М. А., Писаренко В. М. Сейсмический процесс в блоковой среде. М.: Наука, 1991. 98 с.
12. Яковлева Н. Б. Обсуждение возможности картирования величины $K_{\max}$ по скорости деформации земной коры // Новые данные по сейсмологии и сейсмогеологии Узбекистана. Ташкент: ФАН, 1974. С. 67—76.
13. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Сейсмогеология и сейсмическое районирование / Солоненко В. П., Николаев В. В., Семенов Р. М. и др. / Новосибирск: Наука, 1985. 193 с.

Summary

The seismic hazard of the Upper Amur region is proposed to be determined using the volume of seismogeneration blocks, the area of seismic spots and the values of rate gradients of recent tectonic movements considering the dimension of gradient zones. The blocks of probable earthquake chambers (PEC) which are marked by the obtained calculated magnitudes (M) and energy classes (K) of maximum probable earthquakes are intended to be distinguished on the map.

УДК 551.435.55

© 1995 г. И. К. ЧАУС

СПЛЫВЫ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Сплывы в условиях вечной мерзлоты представляют несомненный интерес в научном и практическом отношении из-за высоких скоростей и значительного объема перемещаемого материала. Скорость течения грунтов при сплыве составляет метры — десятки метров в сутки [1], а максимальная скорость движения может достигать 40 км/ч.

Развитие сплывов в условиях вечной мерзлоты включает множество элементарных процессов: абляцию, эрозию поверхности вечной мерзлоты, образование блоков грунтов и спливание активного слоя, стекание и смывание материала с поверхности вечной мерзлоты и формирование грязевых потоков, смещающихся вниз по склону [2]. Поэтому сам процесс и образуемые им формы называются по-разному: «быстрая солифлюкция» [3], «оплывинное солифлюкционное течение» [4], «солифлюкционно-селевые потоки» [5]. Л. А. Жигарев [1] употребляет термин «сплыв».

Нет единого названия для данного процесса и за рубежом: «сплыв в условиях вечной мерзлоты» [2, 6, 7], «грязевой сплыв» [8], «грязевой поток» [9], «термоцирк» [10], «сплыв оттаивания» [11], «двухмодельный сплыв» [12].

Сплывы встречаются в районах, где несцементированные породы подстилаются вечной мерзлотой. Они отмечены в лесной зоне [10, 12—14], тундре [7, 8] и в северной Арктике [6, 9, 15]. Похожая форма, но названная «скользящая масса оттаивания», наблюдалась на высокогорном плато (4650—4900 м абс.) в Китае [16]. В большинстве указанных районов они возникают в одних и тех же местах многократно и приурочены к определенному ландшафту. В плане сплывы представляют собой удлинённую подкову [2] или овал с двумя расширениями [1].

Размеры сплывов различны, но наблюдается уменьшение их площади с увеличением географической широты [2]. В центральной части долины Маккензи (Канада) типичны сплывы шириной 150—750 м, длиной 600—900 м, особенно большой сплыв имеет ширину 2 и длину 4 км [14]. В северной Арктике максимальная ширина сплывов редко превышает 200—300 м [6]. Высота стенок сплывов больше в бореальной и тундровой зонах, где обычно составляет 6—12 м, но иногда достигает 30 м [14], в то время как в северной Арктике редко превышает 2—3 м.

По характеру протекающих процессов сплыв может быть разделен на три зоны [2]: 1) верхняя часть стенки обрыва, обычно практически вертикальная, состоящая из активного слоя с малым воздействием вечной мерзлоты; 2) обнаженная стенка высокольдистой породы с уклонами до 70° у верхней границы с перекрывающими осадками, выходящая до 15° к подножию склона; 3) днище сплыва,