

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ЦИКЛИЧНОСТЬ В НЕДРАХ ЮЖНОГО И СРЕДНЕГО
САХАЛИНА ПО ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

С.М. Сапрыгин

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск

При использовании геофизических, пьезометрических, геодезических и других инструментальных данных наши представления о тектоническом цикле меняются. Оказывается, что в течение 75 лет (1906–1981 гг.) в недрах Южного и Среднего Сахалина была реализована вся последовательность тектонических событий: происходили сильные землетрясения, горизонтальные подвижки, извержения грязевых вулканов и поддвиг Тихоокеанской плиты. Этот цикл состоит из двух частей: 72-летняя эпоха разгрузки недр во время землетрясений, крипа разломов и грязевулканических извержений и трехлетняя эпоха нагружения окраины Евразийской плиты стоячей волной горизонтального сжатия.

Ключевые слова: волноводы, глубинный разлом, землетрясения, крип, миграция напряжений, стоячая волна, тектоническая цикличность, о. Сахалин.

5 августа 2000 г. на о. Сахалин произошло Углегорское землетрясение с магнитудой $M = 7.0$, которое практически повторило Лесогорско-Углегорское землетрясение 1924 г. с $M = 6.8$: эпицентры обоих землетрясений приурочены к Западно-Сахалинскому глубинному разлому и находятся на расстоянии ~ 50 км друг от друга. Можно ли считать землетрясение 2000 г. началом нового цикла сейсмической активности в этих районах острова? Ответ на этот вопрос связан с обсуждением результатов инструментальных наблюдений, начатых на Сахалине в 1906 г., когда мировая сеть сейсмических станций зарегистрировала землетрясение с $M = 6.0$ вблизи г. Александровск-Сахалинский. Такие наблюдения позволяют изучать поле напряжений в недрах.

Региональное поле напряжений изменяет плотность и упругие свойства осадочных пород, а также пластовое давление в ряде мест до аномально высоких значений.

В [16] опубликованы 7 плотностных карт, характеризующих основные горизонты кайнозойских отложений Сахалина в различной структурной ситуации. Из них следует (рис. 1), что наибольшее горизонтальное сжатие отложений фиксируется в субширотном направлении. Поскольку из-за наличия пор объемная плотность горных пород ($2.1\text{--}2.45$ г/см³) меньше минералогической ($2.63\text{--}2.69$ г/см³), то механический фактор следует считать основной причи-

ной уплотнения кайнозойских отложений острова, а субширотное сжатие – направлением, в котором оно проявилось наиболее значимо.

Наличие плотностной анизотропии в неогеновых породах Северного Сахалина дает основание полагать в них анизотропию упругих свойств. Это подтвердилось в ходе сейсморазведочных работ методом общей глубинной точки (МОГТ), проведенных в 1972–1979 гг. А.Н. Телегиным с коллегами: на 5 площадях (рис. 1) обнаружен избыток (10–15 %) скорости сейсмических волн на широтных трассах по сравнению с меридиональными. Полученный результат укрепляет предыдущий вывод тем более, что глубина изучения отложений в этом методе достигала 5 км.

Следующий параметр – пластовое давление, замеры которого выполнены более чем на 100 площадях, а их число превышает 1000.

Представление о пластовом давлении возникло при изучении грунтов [6], интенсивность уплотнения которых под влиянием внешней нагрузки соответствует расходу вытесняемой жидкости. Давление в жидкой фазе грунта называют поровым или пластовым. Грунтовая (гидростатическая) модель характеризует четвертичные отложения Сахалина на глубину нескольких десятков метров.

В более плотных (неогеновых) отложениях острова распределение гидравлических напряжений до

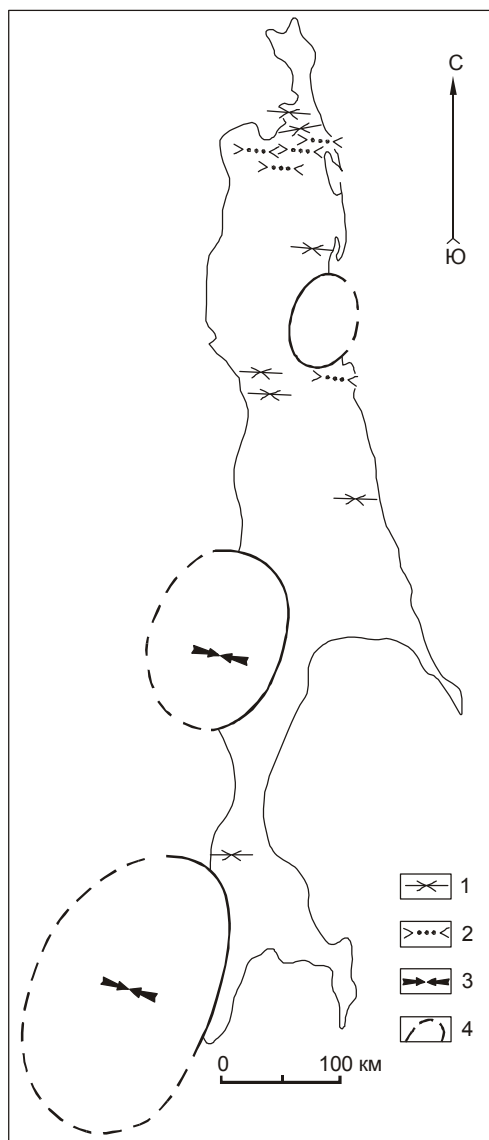


Рис. 1. Ориентация сжатия в недрах Сахалина по:

1 – плотностным картам; 2 – максимальным значениям скорости сейсмических волн; 3 – определениям механизма очага Монеронского (1971 г.) и Углегорского (2000 г.) землетрясений; 4 – контуры наблюдаемой изосейсты 6 баллов от землетрясений (с юга на север): Монеронского, Лесогорско-Углегорского и Ногликского [10].

глубины 4.5 км сводится к следующим моделям. В пористой породе вся внешняя нагрузка приходится на ее каркас, а находящаяся в порах свободная вода испытывает давление, мало отличающееся от гидростатического. В трещиноватых породах, залегающих в более глубоких горизонтах, передача внешней нагрузки от каркаса породы в ее трещинную полость определена формой сечения трещины, упругими модулями породы и разницей между стрессом и гидравлическим напряжением [18]. Возникающее при этом

давление в открытых гидравлических трещинах близко гидростатическому.

В трещиноватом резервуаре, не имеющем стока, возможно образование anomalно высокого пластового давления (АВПД). Обычно полагают, что зону АВПД характеризуют пластовые давления, превышающие гидростатическое в 1.3 раза и более. В недрах острова обнаружены две такие зоны: вдоль Центрально-Сахалинского (на юге) и Северо-Сахалинского глубинных разломов (рис. 2). В северной зоне на площади Пильгун (глубина 1420 м) пластовое давление больше гидростатического в 1.63 раза.

При объяснении эффекта АВПД надо учитывать, что: 1) все осадочные породы Сахалина, начиная с плиоценовых и древнее, в той или иной мере трещиноваты; 2) отложения, в которых измерялось пластовое давление, залегают близгоризонтально и имеют тектоническую трещиноватость, ортогональную напластованию [12].

Наличие АВПД означает, что отток из трещиноватых отложений перекрыт, ибо время диссипации АВПД в случае оттока не более нескольких часов, если принимать в расчет среднюю проницаемость сахалинских коллекторов 0.1 Д и возможный избыток пластового давления 10 МПа. Поэтому надо допустить такую ориентацию внешних усилий, при которой вероятность замыкания трещин будет наибольшей. Поскольку положение трещин в изучавшихся пластах в основном вертикальное, то наиболее эффективным усилием является горизонтальное сжатие. Если привлечь плотностные и упругие характеристики осадочных пород (рис. 1), то они уточняют его ориентацию как субширотную.

Из распределения пластовых давлений следует, что прогибы Сахалина (рис. 2) до глубины 4.5 км нагружены в основном гидростатически. Вдоль глубинных разломов острова прерывисто прослежены зоны АВПД. Небольшая ширина таких зон (до 5 км) обусловлена, видимо, концентрацией стресса на границах литосферных плит, как это наблюдается на разломе Сан-Андреас [19].

Итак, благодаря многолетним усилиям геологоразведочных организаций Сахалина установлены три компоненты регионального поля напряжений – каркас острова по латерали растянут в меридиональном и сжат в широтном направлениях, а его прогибы до глубины 4.5 км нагружены гидростатически.

Современные движения земной коры. Согласно карте вертикальных движений [8], суммировавшей наблюдения за 1956–1980 гг., средние скорости поднятий и опусканий равны 3–4 мм/год. Она подчеркивает унаследованное развитие основных мор-

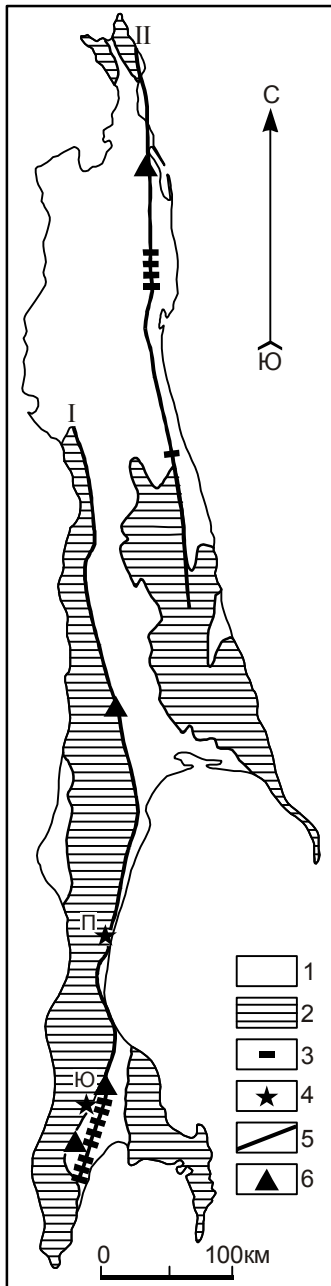


Рис. 2. Морфоструктурная схема о.Сахалин.

1 – прогибы, где измерялось пластовое давление; 2 – поднятия и хребты; 3 – площади АВПД; 4 – грязевые вулканы: П – Пугачевский, Ю – Южно-Сахалинский; 5 – глубинные разломы, по [13, 14]: I – Центрально-Сахалинский, II – Северо-Сахалинский; 6 – геодезические полигоны.

фоструктур Сахалина – поднятие хребтов и погруженные впадин.

Горизонтальные движения изучают с 1975 г. на полигонах, пересекающих глубинные разломы острова (рис. 2). На Тепловодском полигоне вблизи Южно-Сахалинского грязевого вулкана в 1979 г. за-

фиксировано левостороннее смещение (43 мм) верхнемелового крыла Центрально-Сахалинского глубинного разлома, тогда как в другие эпохи наблюдали правосторонние движения от нескольких до 15–20 мм [2]. Позже выяснилось [15], что это – результат регионального стресса величиной 10^{-5} , который предшествовал поддвигу Тихоокеанской плиты.

На Орловском полигоне (Средний Сахалин) левосторонний сдвиг (56–67 мм) верхнемелового крыла Центрально-Сахалинского разлома окончился землетрясением с $M=4.9$ в конце 1984 г. [3]. Неогеновое крыло этого разлома оставалось неподвижным в 1983–1984 гг. (рис. 3). Изложенную ситуацию прояснили геологические наблюдения в обнажениях: в основании верхнемеловой чешуи залегает пласт тектонических брекчий видимой мощностью 3 м, что свидетельствует о подобном механизме сдвига в течение продолжительного времени.

Сделаем два замечания. Согласно изложенным данным, левые сдвиги – более значимые движения в недрах, чем правые. Последние являлись компенсирующими, возвращая состояние недр к механическому равновесию.

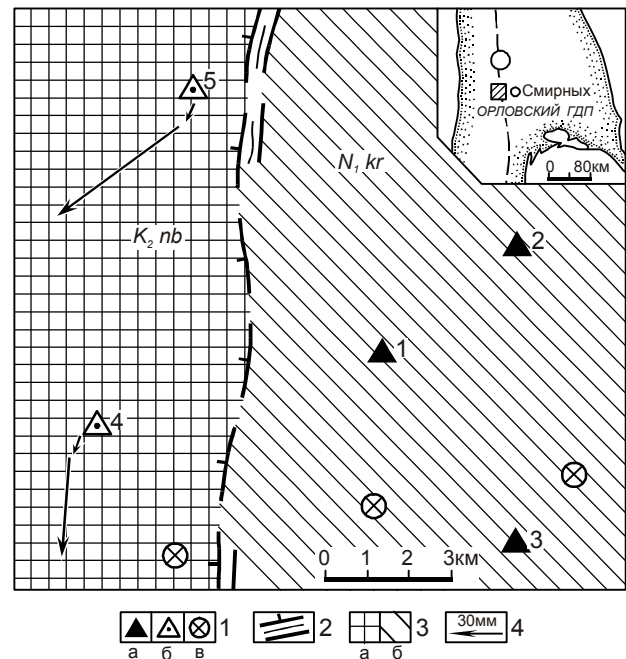


Рис. 3. Горизонтальные движения на Орловском полигоне в 1983–1984 гг. [3].

1 – стабильные (а) и подвижные (б) пункты плановой сети, в – нивелирные реперы; 2 – зона Центрально-Сахалинского глубинного разлома; 3 – отложения верхнего мела (а) и неогеновые отложения (б); 4 – масштаб вектора смещения. На врезке – положение Орловского полигона и эпицентр Онорского землетрясения 1984 г.

Заметим также, что установленные скорости горизонтальных движений (56–67 мм/год) более чем на порядок превышают вертикальные, что приводит к значительным смещениям за геологическое время: начиная с плиоцена горизонтальное смещение крыльев Северо-Сахалинского глубинного разлома на севере острова составило 14 км, а в центральной его части – 25 км [13]. Если сопоставить эти цифры с высотой рельефа Сахалина (~1.6 км), который формируется также с плиоцена, то разница в масштабах обоих видов движений достигает такого же порядка.

Сейсмичность характеризует энергетику землетрясений, их распределение в регионе и связь с тектоническими структурами.

Регистрацию землетрясений в недрах острова осуществляют с 1906 г. Она представительна для событий с $M \geq 5.0$ на Южном и Среднем Сахалине с 1928 г. Большая часть (~96%) очагов сахалинских землетрясений с $M \geq 4.5$ фиксируются на глубинах от 10 до 20 км [10]. Считается, что они возникают при разрядке касательных напряжений, ибо в силу значительного литостатического сжатия (до 500 МПа) в очагах наиболее вероятны горизонтальные движения. Максимальная интенсивность – 8 баллов – наблюдалась при Лесогорско-Углегорском (1924 г.), Анивском (1951 г.), Монеронском (1971 г.) и Углегорском (2000 г.) землетрясениях.

Макросейсмическое изучение Ногликского (1964 г.), Лесогорско-Углегорского и Монеронского землетрясений показало (рис. 1), что эллипсы изосейст сжаты по широте и вытянуты вдоль Сахалина, подчеркивая, тем самым, влияние бокового сжатия. Оценка механизма очага Монеронского землетрясения выявила [4], что оси сжатия ориентированы субширотно (рис. 1) и близгоризонтально. Это решение позволяет выбрать плоскость разрыва в очаге: смещение тектонических блоков произошло, скорее всего, вдоль пологой плоскости (50°), тогда как крутая (72°) – являлась фиктивной и была бы заперта горизонтальным сжатием. Такой же вывод получен и по Углегорскому землетрясению (сообщение Л.Н. Поплавской). В рифтах, где преобладают условия растяжения, подвижной будет крутая плоскость.

Итак, боковое сжатие распространяется на глубокие недра изучаемых районов и служит источником касательных напряжений, разрядка которых приводит к землетрясениям и горизонтальным подвижкам. Это подтверждает распределение эпицентров землетрясений с $M \geq 5.0$, приуроченных к глубинным разломам или сдвигам (по В.С. Рождественскому*, простирающимся западнее и восточнее Западно-Сахалинских гор) (рис. 4). Западный глубинный разлом

состоит из нескольких кулисно расположенных разрывов на острове и его шельфе, вдоль которых картируют интрузии долеритов, вулканические центры и происходят сильные землетрясения.

Возможны и другие способы разрядки напряжений.

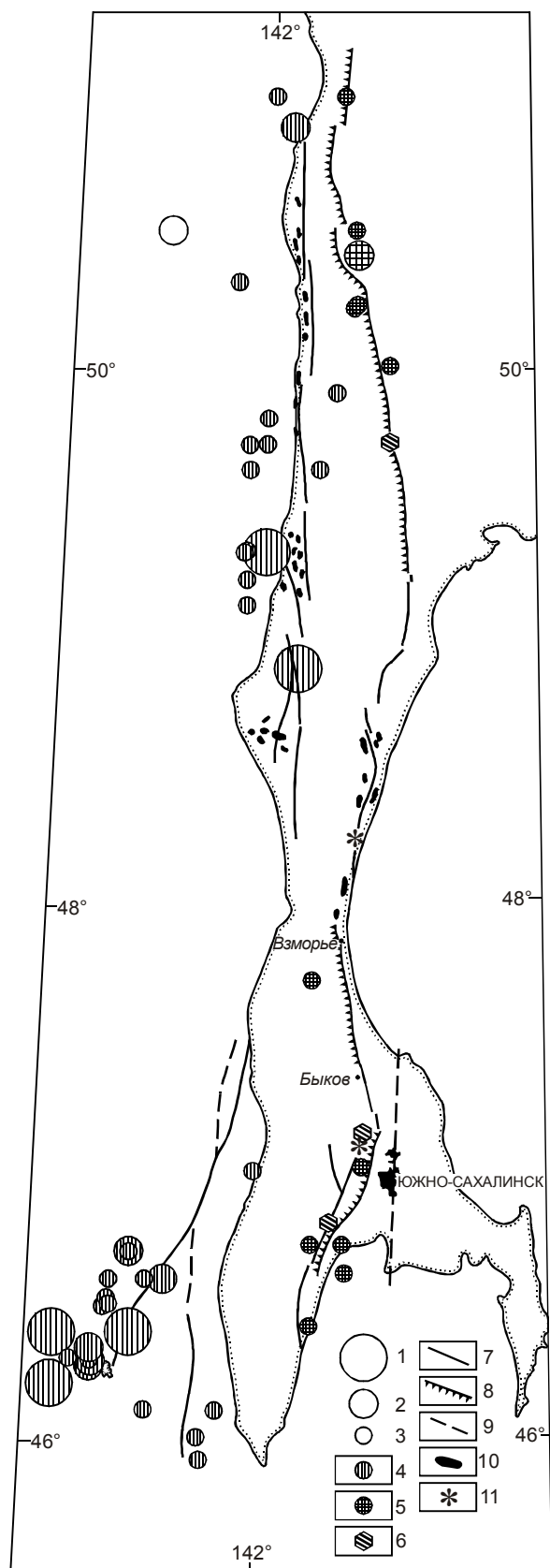
Асейсмичный крип и грязевый вулканизм. Пьезометрические и геодезические наблюдения в середине 1979 г. зафиксировали деформацию сжатия на Центрально-Сахалинском глубинном разломе. Это было субширотное горизонтальное сжатие величиной 10^{-5} , окончившееся левосторонней подвижкой (43 мм) западного крыла разлома, где расположен Южно-Сахалинский грязевый вулкан. В конце 1979 г. он возобновил свою эксплозивную деятельность после 20 лет молчания.

Грязевый вулканизм на Южном Сахалине – редкое явление природы: только в XX веке наблюдали 14 извержений Пугачевского и Южно-Сахалинского грязевых вулканов, действовавших в зоне Центрально-Сахалинского глубинного разлома (рис. 4). Первый из них находится на перешейке Поясок, где не фиксировали землетрясений с 1906 г. Видимо, разрядка напряжений происходила здесь путем медленных движений (крип), которые завершались грязевулканическими выбросами. Для проверки этой гипотезы рассмотрим вначале режим и энергетику Пугачевского вулкана.

Известно**, что на Пугачевском вулкане в 1906 г. отсутствовали сопочные отложения. Затем, начиная с 1910 г., произошло 11 извержений, особенности которых можно свести к двум моделям: грязевая масса поступала на поверхность Земли путем эксплозий (взрыв грязевой пробки и выброс значительных объемов газа и сопочной брекчии) или при ее медленном продавливании через трещины. Последний режим характерен для извержений 1910 и 1980 гг., а первый – для остальных выбросов Пугачевского и извержений Южно-Сахалинского вулкана в 1959 и 1979 гг. При оценке энергии выброса за расчетную высоту (всех выбросов одного извержения) принималась минимальная из наблюдавшихся. Подъем массы грязи на эту высоту происходил благодаря струйному истечению газа из кратера вулкана.

*Рождественский В.С. Роль сдвиговых дислокаций в формировании месторождений углеводородов на о.Сахалин (Фонды Института морской геологии и геофизики). 1995. 167 с.

**Уеда М. Грязевый вулкан Магунтан. Изв.о-ва изучения памятников природы (на япон.языке) (Фонды Института морской геологии и геофизики). 1938.



Выбор Пугачевского грязевого вулкана в качестве примера обусловлен его расположением на асейсмичном перешейке Поясок, что позволяет связывать его энергетику (рис. 5) с глубинным процессом, протекающим без землетрясений. Будем полагать, что эксплозии грязевых вулканов на Южном Сахалине завершали разрядку напряжений (это наблюдали в 1979 г.). Отсюда следует, что энергия выброса составляет малую долю энергии горизонтального движения тектонических блоков на Центрально-Сахалинском разломе. Очевидно, что различным по энергии выбросам отвечала различная энергия крипа, и эту зависимость, в первом приближении, будем считать линейной. Тогда, полагая, что энергия крипа 1979 г. превышала энергию Монеронского землетрясения 1971 г. в 1.5 раза, оценим энергию других криповых подвижек на этом разломе, используя данные рис. 5. Результаты оценки дополнены землетрясениями с $M \geq 5.0$, которые произошли с 1906 г.

Миграция напряжений. Сводка оценок (рис. 6) позволяет проследить за эволюцией сейсмичности и крипа в XX веке. Одномерное представление данных о землетрясениях понятно из рис. 4, где видно, что глубинные разломы (и относящиеся к ним эпицентры) простираются практически меридионально. Полагая землетрясение следствием разрядки касательных напряжений в очаге, можно считать, что изучаемая последовательность (рис. 6) обусловлена миграцией напряжений в недрах. Намечаются две схемы такой миграции.

Первую можно считать афтершоковой, ибо она характеризует разрядку напряжений в окрестности основного толчка. Так, после Онорского ($M=6.1$, 1909 г.) и Лесогорско-Углегорского ($M=6.8$) землетрясений произошли еще несколько толчков меньшей силы ($M=5.2-5.5$). Их очаги располагались севернее основных (рис. 6), а скорость миграции тектонических усилий вдоль глубинных разломов составила от 4 до 8 км/год.

Вторая схема миграции напряжений более примечательна. Если ввести ограничения $M \geq 6.0$ ($E \geq 10^{15}$ Дж),

Рис. 4. Схема геолого-геофизической информации для Южного и Среднего Сахалина.

Эпицентры землетрясений: 1 – $M=6.6-7.2$; 2 – $M=5.8-6.5$; 3 – $M=5.0-5.7$, приуроченные к: 4 – Западно-Сахалинскому, 5 – Центрально-Сахалинскому глубинным разломам, 6 – геодезические полигоны (с юга на север): Южный, Тепловодский и Орловский. Разломы, по В.С. Рождественскому: 7 – сбросы, 8 – надвиги и взбросы, 9 – погребенные. 10 – долериты и габбродиабазы, 11 – грязевые вулканы.

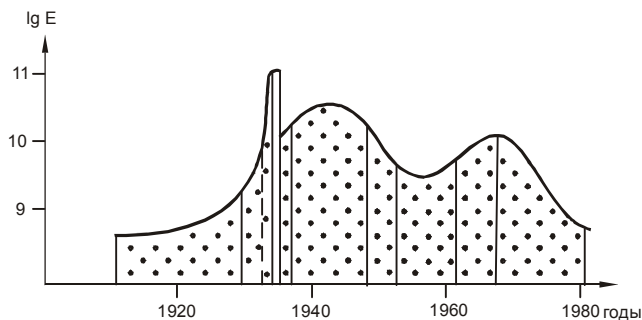


Рис. 5. Динамика извержений Пугачевского грязевого вулкана в XX веке. Значения энергии даны в джоулях.

то можно выделить общий для Южного и Среднего Сахалина фронт разрядки напряжений, объединивший сейсмичность и крип разломов и перемещавшийся с севера на юг со средней скоростью 10 км/год (рис. 6). С его появлением на широтах, где находятся грязевые вулканы, последние начинают свою эксплозивную деятельность (рис. 5).

Итак, нужно предложить модель, объединяющую обе схемы миграции напряжений. Одна из них является зависимой, отражая релаксацию напряжений в недрах после основного толчка. Так, после Лесогорско-Углегорского землетрясения 1924 г. разрядка напряжений в его окрестности продолжалась 10 лет, а после извержения Пугачевского грязевого вулкана 1934 г. – 46 лет (рис. 5, 6). Кинематически это означает, что левосторонняя подвижка на глубинном разломе вследствие землетрясения или крипа затем

должна сменяться правосторонними смещениями после афтершоков. В этом случае фронт напряжений, диффундирующий вдоль глубинного разлома, из-за бокового сжатия его крыльев возвращается (отражается) и идет в обратном направлении. Такой механизм напоминает упругую отдачу Рейда, но он реализуется со скоростью, которая на 7 порядков меньше скорости сейсмических волн.

Дж. Райс [11] и др. изучали распространение деформационного фронта через земную кору на основе обобщения модели Эльзассера. Они учитывали вязкоупругое сцепление литосферы и астеносферы, которое создает возвратное движение волны напряжений по плите. Но по мере релаксации астеносферы часть возмущения передается и в соседние участки плиты, ускоряя процесс их нагружения и подготавливая в них последующие тектонические события.

В изучаемых недрах эта передача возмущения (напряжений) зависела от того, какой отрезок глубинного разлома – зону сжатия или растяжения – проходит деформационный фронт. Так, между Лесогорско-Углегорским землетрясением 1924 г. и самой сильной эксплозией Пугачевского вулкана прошло 10 лет, в течение которых высвободившиеся напряжения прорелаксировали в зоне сжатия (рис. 6) и накопились в соседней (с юга) зоне растяжения. Далее тектонический процесс перемещается в южную зону, где накопление и разрядка напряжений между начальными эксплозиями обоих вулканов (1934 и 1959 гг.) продолжались 25 лет. Переход фронта еще южнее, на широту Монеронского землетрясения

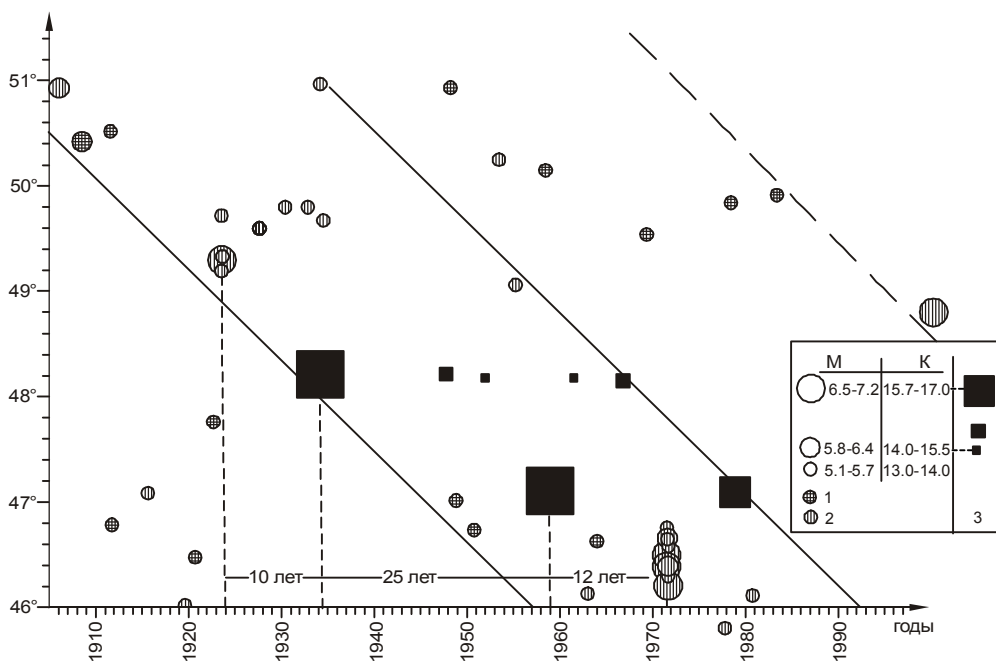


Рис. 6. Последовательность и энергетика сейсмичности и крипа в недрах Южного и Среднего Сахалина в координатах "географическая широта – время". Эпицентры землетрясений, приуроченные к: 1 – Центрально-Сахалинскому и 2 – Западно-Сахалинскому глубинным разломам; 3 – энергетическая шкала крипа.

1971 г., произошел вдвое быстрее – за 12 лет, что близко времени релаксации напряжений после Лесогорско-Углегорского землетрясения 1924 г.

Установлено [14], что зоны растяжения Центрально-Сахалинского глубинного разлома дислоцированы сбросами, а зоны сжатия – чешуями надвигов (рис. 4). Скорость тектонического нагружения зоны надвига больше, чем сброса в $2/(1-\nu) \approx 2.5$ раза [11], где ν – коэффициент Пуассона, значение которого для горных пород равно 0.22 [7]. Эта зависимость объясняет различную продолжительность релаксации напряжений в зонах сжатия и растяжения глубинного разлома – в среднем 10 и 25 лет.

Очевиден вопрос: как с помощью коэффициента Пуассона найдены столь удовлетворительные оценки? Представление о нем получают [17] при испытаниях образцов горных пород на одноосное сжатие, где коэффициент Пуассона есть тангенс угла наклона экспериментальной кривой в координатах "поперечная–осевая деформации", т.е. это дифференциальная мера деформации в этой модели. Но она вполне приложима к недрам изучаемых районов, нагруженным боковым (поперечным) сжатием и ортогональным ему деформационным фронтом (не учитывая гидростатического сжатия от веса пород).

Волноводы земной коры. Упругие напряжения распространяются так же, как и сейсмические волны, следуя принципу Ферма и "выбирая" такую трассу в земной коре, которая будет пройдена за наименьшее время. Последнее условие означает также выбор наиболее высокоскоростной трассы или наиболее плотной среды вдоль нее.

Установлен и другой тип корового волновода [9], выраженный зоной трещиноватости или разломом. Сейсмическая волна, попадая в разлом, распространяется в нем, отражаясь от его бортов.

Классический вариант волновода возможен в горных породах высокой плотности, например в пластовой интрузии долеритов, залегающей среди осадочных пород. Такие тела закартированы вдоль Западно-Сахалинского и Центрально-Сахалинского глубинных разломов (рис. 4): в зоне первого их протяженность на поверхности достигает 2–3 км, а мощность – 200–300 м, во втором случае – 7–12 км и 300 м, соответственно [5]. Форма залегания тел разнообразна – силлы, дайки, купола, но преобладают пластовые формы. Чаще это основные породы – долериты, габбродиабазы, однако встречаются андезиты и кварцевые порфиры. Плотность долеритов и габбродиабазов равна 2.98 г/см^3 , а вмещающих пород – $2.15\text{--}2.30 \text{ г/см}^3$ [16] что соответствует скорости

распространения продольных волн 7 км/с в интрузивах и $1.85\text{--}2.75 \text{ км/с}$ во вмещающих породах [1].

Итак, глубинные разломы и приуроченные к ним интрузии долеритов и габбродиабазов – основные волноводы в недрах Южного и Среднего Сахалина. Эти структуры существуют с конца плиоцена и создают необходимые условия для распространения деформационного фронта благодаря минимальной диссипации напряжений. Расстояние между разломами варьирует от 10 до 40 км, поэтому землетрясения с $M \geq 6.0$ (1906, 1909 и 1924 гг.) возникали вдоль них в шахматном порядке, исключаящем перекрытие очаговых полей напряжений. Переход деформационного фронта на Центрально-Сахалинский глубинный разлом и начало эксплозивной деятельности Пугачевского грязевого вулкана (1934 г.) объясняет рис. 4: другого волновода в недрах перешейка Поясок нет. Неординарными для Сахалина были Монеронские землетрясения 1971 г. – 4 толчка с $M \geq 6.0$ в сентябре (из них основной с $M=7.2$) и один форшок в мае с $M=6.1$.

Хотя аналогия не все проясняет, но все же вспомним серию Итурупских землетрясений в марте 1978 г. – в течение недели произошли 4 толчка с $M \geq 7.0$, которые завершились землетрясением с $M=8.0$. Такая энергичная разгрузка недр не была случайной: она предшествовала образованию в конце 1978 г. стоячей волны горизонтального сжатия, релаксация которой привела к поддвигу Тихоокеанской плиты в 1981 г. [15].

ВЫВОДЫ

Выше приведены две независимые оценки продолжительности тектонического цикла в недрах – повторяемость землетрясений с $M \geq 6.8$ вблизи г. Углегорска в период 1906–1981 гг., в течение которого происходили землетрясения, извержения грязевых вулканов, крип разломов, а также поддвиг Тихоокеанской плиты (рис. 6), [15]. Обе оценки практически совпадают – 76 и 75 лет. Этот цикл делится на две неравные эпохи: 72-х летняя эпоха разгрузки недр Южного и Среднего Сахалина во время землетрясений, горизонтальных подвижек тектонических блоков и извержений грязевых вулканов и 3-х летняя эпоха нагружения окраины Евразийской плиты стоячей волной сжатия. Объяснение такой продолжительности цикла еще впереди, но то, что Углегорским землетрясением 2000 г. начат следующий этап тектонической активности, можно принять рабочей гипотезой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быков В.Г. Сейсмические волны в пористых насыщенных породах. Владивосток: Дальнаука, 1999. 108 с.

2. Василенко Н.Ф., Богданова Е.Д. Горизонтальные движения земной поверхности в зоне Центрально-Сахалинского глубинного разлома // Тихоокеан. геология. 1986. № 3. С. 45–49.
3. Василенко Н.Ф., Богданова Е.Д. Геодезические предвестники Онорского землетрясения 22 декабря 1984 г. на Среднем Сахалине // Вулканология и сейсмология. 1988. № 2. С. 72–80.
4. Воробьёва Е.А. Механизм очага Монеронского землетрясения по инструментальным данным // Сейсмическое районирование Сахалина / Ред. С.Л.Соловьёв. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 68–76.
5. Геология СССР. Т. 33: Сахалин / Ред. В.Н.Верещагин. М.: Недра, 1970. 431 с.
6. Герсеванов Н.М., Польшин Д.Е. Теоретические основы механики грунтов и их практические приложения. М.: Стройиздат, 1948. 248 с.
7. Дук А.Е., Капустянский С.М., Николаевский В.Н. Взаимодействие сейсмических волн с дилатирующим разломом // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1993. № 5. С. 51–58.
8. Карта современных вертикальных движений земной коры о. Сахалин. 1:1 250 000. М.: ГУГК СССР, 1981.
9. Николаевский В.Н., Шаров В.И. Разломы и реологическая расслоённость земной коры // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1985. № 1. С. 16–28.
10. Оскорбин Л.С. Сейсмичность Сахалина // Сейсмическое районирование Сахалина / Ред. С.Л.Соловьёв. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 3–22.
11. Райс Дж. Механика очага землетрясения. М.: Мир, 1982. 217 с.
12. Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1970. 164 с.
13. Рождественский В.С. Сдвиги северо-восточного Сахалина // Геотектоника. 1975. № 2. С. 85–97.
14. Рождественский В.С. О сдвиговых перемещениях вдоль зоны Тымь-Поронайского разлома на о.Сахалин // Докл. АН СССР. 1976. Т. 230, № 3. С. 678–680.
15. Сапрыгин С.М., Василенко Н.Ф., Соловьёв В.Н. Распространение волны тектонических напряжений по Евразийской плите в 1978–1983 гг. // Геология и геофизика. 1997. Т. 38, № 3. С. 701–709.
16. Тихомиров В.М. Плотность горных пород и геологическое картирование в условиях Сахалина. М.: Наука, 1970. 111 с.
17. Троллоп Д.Х., Бок Х., Бест Б.С., Уоллес К., Фултон М.Дж. Введение в механику скальных пород. М.: Мир, 1983. 276 с.
18. Pollard D.D. On the form and stability of open hydraulic fractures in the earth's crust // Geophys. Res. Lett. 1976. V. 3, N 9. P. 513–516.
19. Turcotte D.L. Stress accumulation and release on the San Andreas fault // Pure and Appl. Geophys. 1977. V. 115, N 1-2.

Поступила в редакцию 26 мая 2001 г.

Рекомендована к печати Ю.Ф. Малышевым

S.M. Saprygin

Tectonic recurrence in the South and Middle Sakhalin entrails from instrumental data

If geophysical, piezometric, geodetic and other instrumental data are used, then our notions of tectonic recurrence are changed. It appears that a sequence of tectonic events was realized in the South and Middle Sakhalin entrails during 75 years (1906-1981): strong earthquakes, horizontal movements, mud volcano eruptions and the Pacific plate subduction took place. This recurrence consists of two parts: a 72-year epoch of the entrails unloading by earthquakes, creep faults and mud volcano eruptions, and a three-year period of loading of the Eurasian plate margin by standing wave of horizontal compression.