

ПОСТРОЕНИЕ ЗОН ВОЗМОЖНЫХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ГИС MAPINFO ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

Трофименко С. В., Гриб Н. Н., Иванова Н. А., Колодезников И. И.

Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, Россия (678960, Республика Саха (Якутия), г. Нерюнгри, ул. Южно – Якутская 23), e-mail: trofimenko_serger@mail.ru

Рассмотрена задача построения зон возможных очагов землетрясений с использованием новых информационных технологий в картографической системе MapInfo. Произведены детальные оценки сейсмической опасности на основе анализа сейсмической активности зон сочленения основных морфоструктурных элементов, на выделенных масштабах времени, и установления взаимосвязи геологических предпосылок возникновения землетрясений разной силы с активными тектоническими структурами. Показана активность основных тектонических структур изучаемой территории на основе оценок динамических параметров в виде средней скорости, рассчитываемой по амплитуде смещения в установленный промежуток геологического времени, направления смещения и кинематики движений. Установлено чередование зон возможных очагов землетрясений в широтном направлении с оценками максимально возможной магнитуды землетрясений для каждой зоны. Чередование широтных структур с высоким и пониженным сейсмическим потенциалом подтверждено найденной сейсмодислокацией севернее основных активных тектонических структур. Данная закономерность определяет необходимость дальнейших палеосейсмологических исследований для детализации сейсмической опасности Южной Якутии.

Ключевые слова: земная кора, блоковое строение, активные разломы, землетрясения, магнитуда, зоны ВОЗ, сейсмическая опасность, ГИС MapInfo.

CONSTRUCTION AREAS OF POSSIBLE SOURCES OF EARTHQUAKE MAPINFO GIS FOR EVALUATION OF SEISMIC RISK OF SOUTH YAKUTIA

Trofimenko S. V., Grib N. N., Ivanova N. A., Kolodeznikov I. I.

North-Eastern Federal University of MK Ammosov, Neryungri, Russia (678 960, Republic of Sakha (Yakutia), Neryungri Street. South - Yakut 23), e-mail: trofimenko_serger@mail.ru

The problem of construction of earthquake zones possible with the use of new information technologies in the mapping system MapInfo. Produced detailed seismic hazard assessment based on the analysis of seismic activity zones of articulation of the main structural elements in the allocated time scale and correlating geological preconditions to earthquakes of varying strength with active tectonic structures. Shows the activity of the main tectonic structures of the study area based on estimates of the dynamic parameters in the form of average speed is calculated via the displacement amplitude at a fixed period of geologic time, the direction of displacement and movement kinematics. Set of possible alternate zones of earthquakes in east-west direction with estimates of the maximum possible earthquake magnitude for each zone. The alternation of latitudinal structures of high and low seismic potential confirmed by seismic dislocations found north of the main active tectonic structures. This pattern defines the need for further research to palaeoseismological detail seismic hazard in South Yakutia.

Keywords: crust, block structure, the active faults, earthquakes, magnitude, potential earthquake sources zone, seismic hazard, GIS Mapinfo.

Введение

При детальной оценке сейсмической опасности одно из важнейших мест занимает анализ сейсмической активности зон сочленения основных морфоструктурных элементов на выделенных масштабах времени и установление взаимосвязи геологические предпосылок возникновения землетрясений разной силы с активными тектоническими структурами [7].

В задачах изучения сейсмической опасности для промышленных сооружений в сейсмоактивных зонах особая роль отводится исследованию активизации разломов в определенные временные интервалы жизни тектонических структур. Установление активности изучаемых

структур связывают с их динамическими параметрами в виде средней скорости, рассчитываемой по амплитуде смещения в установленный промежуток геологического времени, направлению смещения и кинематике движений [8].

Изучению сейсмичности и её природы на территории Южной Якутии и других сейсмоактивных регионах проводились многими авторами: [1–4, 8–12].

Данные исследования подтвердили тот факт, что для установления связи высокой сейсмической активности изучаемого региона с геологическими особенностями строения необходимо производить оценки параметров активности основных разломных структур в течение позднего плейстоцена и голоцена, то есть последних 100–150 тыс. лет. [3, 4] с уточнением за голоценовый период геологического развития [8].

Общая технологическая схема оценки сейсмической опасности по комплексу геологических и сейсмологических работ приведена в работе [4] и представлена на рис. 1.

Для Южной Якутии основные работы по представленному комплексу выполнялись во второй половине XX столетия. Для оценки сейсмической опасности в пределах той или иной, выделенной по комплексу геолого-геофизических данных разломной структуры, были привлечены результаты комплексного анализа геолого-тектонических критериев сейсмичности [2]. Данные материалы проанализированы и обобщены в работе [6].

В современный период детальные геолого-геофизические исследования на территории Южной Якутии, направленные на выявление следов молодой тектонической активности в зонах геологических разломов, проводились в 2006 г. в связи с работами по детальному сейсмическому районированию трассы проектируемого нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан [11]. Комплексные исследования, включавшие геолого-геоморфологические и геофизические работы, носили палеосейсмогеологическую направленность.

В основу изучения активных разломов положен палеосейсмогеологический подход, основанный на допущении, что сильнейшие землетрясения далекого, часто доисторического прошлого оставляют на поверхности следы – палеосейсмодислокации [1, 2, 4].

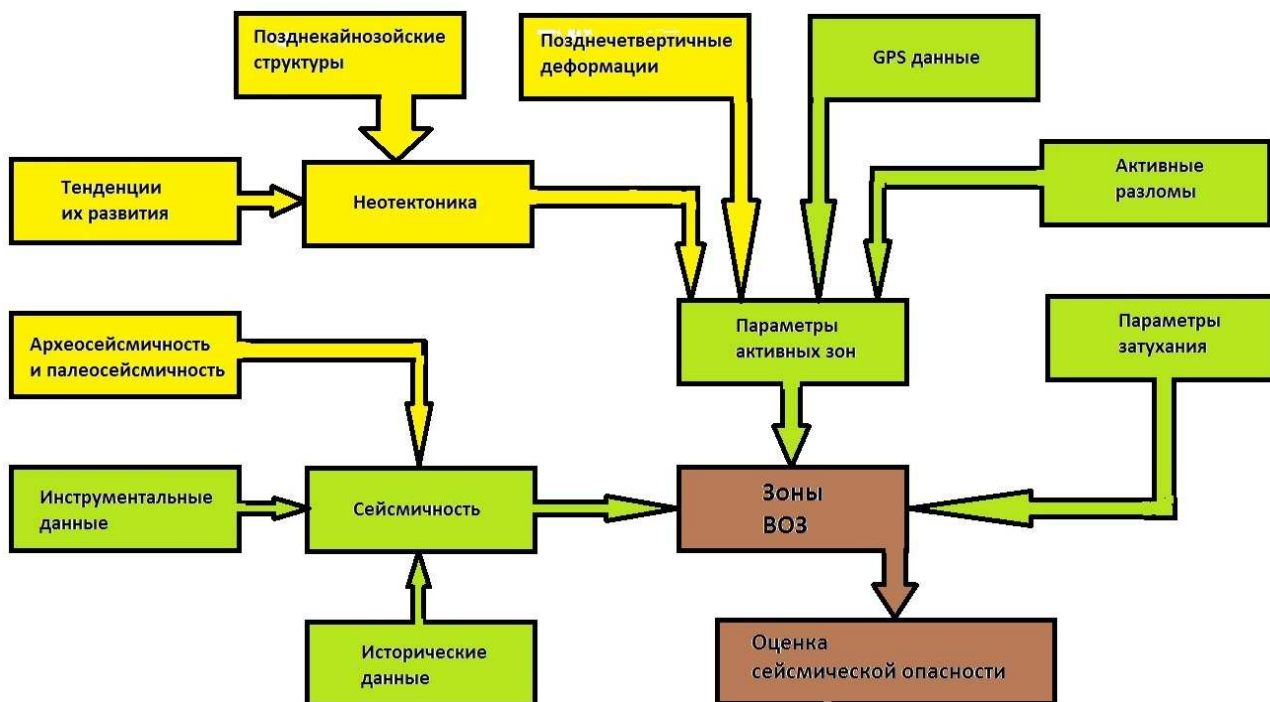


Рис. 1. Технологическая схема оценки сейсмической опасности (по Трифонову В. Т. [4])

Цветные обозначения: желтый цвет – материалы, требующие дополнительной доработки для Южной Якутии на основе полевых исследований; зеленый цвет – материалы, требующие в основном теоретической проработки; коричневый цвет – выходные данные, изменяющиеся в зависимости от критериев и оценок полевых работ и теоретических моделей.

Результаты исследований и обсуждение

Признаками активности разломов являются расположенные вдоль них цепочки эпицентров землетрясений. На характер подвижек по разлому могут также указывать особенности происходивших вдоль него землетрясений [7]. Совместное применение двух методов позволяет дополнить и детализировать динамику разлома с изменениями его параметров вдоль разлома и на глубину, а также с временными вариациями их проявлений.

Способ оценки мест и максимальной магнитуды M_{max} землетрясений по данным об активных разломах основан, во-первых, на самом факте приуроченности большинства сильных землетрясений разломам и, во-вторых, на их длине и амплитудах выявленных сейсмогенных подвижек. Хотя очаги современных сильных землетрясений могут располагаться в любой части зоны живого разлома, выявлены места, где они возникают особенно часто. Это пересечения и сочленения разнонаправленных разломов и участки, где кулисно расположенные сегменты разломов надстраивают друг друга. Именно там непрерывное движение по разлому затормаживается и происходит накопление упругой деформации, приводящее к сейсмогенерирующему срыву.

Использование для оценки M_{max} данных о длине разлома L и величине сейсмогенных подвижек D основано на уравнениях регрессии типа

$$M = a+b \cdot \lg L \text{ и } M = c+d \cdot \lg D, \quad (1)$$

где a , b , c и d – коэффициенты, эмпирически определенные по данным о подвижках при современных землетрясениях, а M – их амплитуды.

Закон затухания интенсивности сотрясений от гипоцентрального расстояния использовался в виде [13]:

$$I = 1.5 M - 3.0 \lg \Delta_i + 2.5, \quad (2)$$

где, M выражается через энергетический класс K по формуле: $K = 4 + 1.8 M$.

Суммарная погрешность применения формулы (2) для Южной Якутии составляет 5 % (4.81 %), что позволяет использовать её для оперативных расчетов.

За меру сейсмичности была выбрана величина сейсмической активности A , как средней частоты повторения землетрясений определенной энергии.

Сравнительный анализ флуктуаций величин ΣE - сейсмической энергии, $\Sigma E^{1/2}$ - условных деформаций Беньёффа и A - сейсмической активности показывает, что оперировать величиной A целесообразнее, нежели ΣE и $\Sigma E^{1/2}$. Это легко понять, если учесть, что период наблюдений над землетрясениями необходимо увеличить в 20 раз при работе с $\Sigma E^{1/2}$ и в 55 при выборе ΣE . Тем не менее, расчет величины смещения по формуле (1) с учетом того, что суммарная величина накопленной магнитуды равна $M = c+d \cdot \lg D_M$ и $D_{\Sigma} = \Sigma E^{1/2}$ дает возможность рассчитать подвижки по разломам с учетом проекции сдвиговой компоненты сильного землетрясения на ось активного разлома, для которого рассчитывается смещение.

Второй подход связан с расчетом теоретического смещения D_{Σ} за инструментальный период наблюдений (либо за выделенный период) и расчет теоретической магнитуды (энергии) при активизации рассматриваемого разлома [5]. Область динамического влияния разломов для земной коры показана в работе [13] и может быть записана в виде

$$\delta l = 0.5kL^c, \quad (3)$$

где δl – ширина зоны влияния разломов или расстояние от осевой зоны дислокации до середины поля повышенных напряжений, L – длина разломов, k, c – коэффициенты пропорциональности, изменяющиеся в пределах 0,3-0,5 и 0,5-0,96 соответственно. Для районов с высокой тектонической активностью можно принять $k = 0,3$, $c = 0,96$.

Для структурированной геологической среды с линейным размером стороны домена 120–150 км, что характерно для Алданского щита [10] величина δl составит $\delta l = 0,15 \cdot (120-150)^{0,96} \approx 20$ км. При этом удвоенная величина $\Delta d = 2\delta l$ совпадает с величиной деформационных зон разломов 1-го ранга, определенных по аномалиям геофизических полей [10].

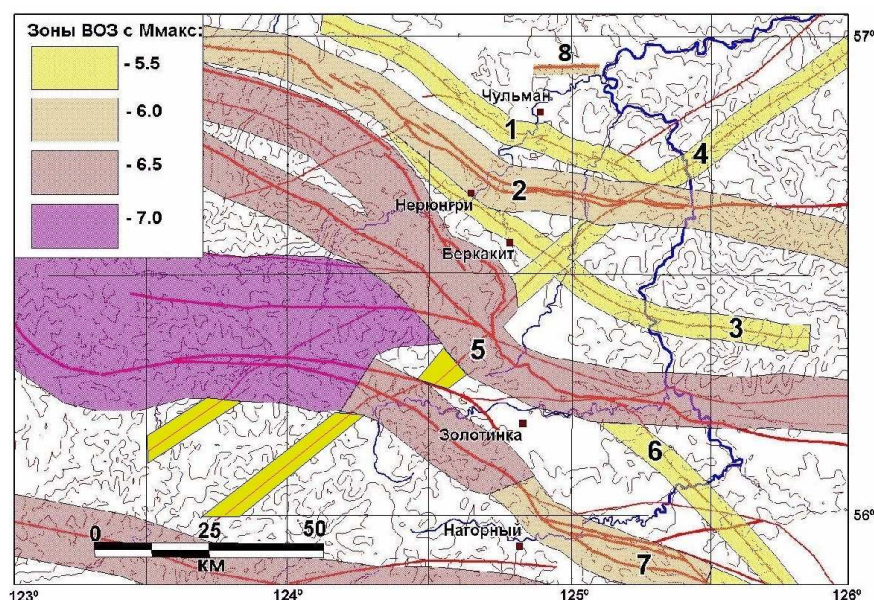
Результаты детального изучения активных разломов Южной Якутии [7, 11] для прогноза сейсмической опасности были обобщены на основе методов оценок максимально возможной

магнитуды, основанных на глобальных статистических обобщениях соотношений размеров очаговых зон землетрясений, магнитуды, кинематики и амплитуды подвижек по сейсмогенным разломам, а также зон динамического влияния разломов [14, 15].

Проведенный анализ существующих подходов картирования активных разломов был дополнен результатами исследования структурных связей сейсмогеологических элементов, обуславливающих сейсмичность, с применением статистического анализа распределений аномалий геофизических полей и моделирования сейсмического процесса [5, 10].

Использование ГИС MapInfo позволило построить карту зон возможных очагов сильных землетрясений (зон ВОЗ) Южной Якутии [7] (рис. 2).

Рис. 2. Дифференцированные зоны возможных очагов сильных землетрясений Южной Якутии исследованных активных разломов



Условные обозначения: Зоны ВОЗ: 1-Кабактинская; 2-Нижне-Нерюнгринская; 3-Беркаkitская; 4-Суннагино-Ларбинская; 5-Южно-Якутская; 6-Верхне-Гонамская; 7-Становая; Чульмаканская, выделенная по результатам новых исследований

В дополнение к разработанным методикам картирования зон ВОЗ при построении данной карты

(рис. 2) приняты предположения (в порядке обсуждения), что установленная активизация любого фрагмента разлома распространяется на всю тектоническую структуру и, во-вторых, уменьшение (увеличение) прогнозируемой магнитуды вдоль разлома возможно при наличии ортогональных (сопряженных) активизированных структур. В этой связи на карте не отражены изолинии равных магнитуд, как в работе [7], а сама карта названа условно «дифференцированные зоны возможных очагов сильных землетрясений». Из особенностей представленной схемы зон ВОЗ можно отметить следующее:

- ширина зон ВОЗ уменьшена для систем разломов северо-восточного простирания, так как они на данной территории носят подчиненный характер и во вторых укладываются в доменную структуру второго порядка [10], для которых зоны кинематического влияния определены в 30 км;

- широтная структура, объединяющая основную ветвь Южно- Станового и южную ветви Северо-Становой системы разломов представлены в виде одной зоны, так как, во-первых, они попадают в доменную структуру ($3-273^0$) первого порядка и, во-вторых, объединены единым полем сейсмичности без сейсмических брешей;
- Кабактинская зона ВОЗ выделена в связи с одноименным активным разломом. Геолого-геоморфологические и палеосейсмогеологические наблюдения в зоне разлома показали морфо-кинематику в виде правостороннего взбросо-сдвига с возможными единовременными сейсмическими подвижками с амплитудой до 20 см;
- Нижне-Нерюнгринская зона ВОЗ выделена в связи с одноименным активным разломом, имеющим две структурные ветви. При «тренинге» выявлено двукратное сейсмогенное смещение крыльев разлома с вертикальной амплитудой порядка 20–25 см [7].
- Суннагино-Ларбинская зона ВОЗ приурочена к одноименному активному разлому, имеющему две структурные ветви. Геолого-геоморфологические, геофизические наблюдения в зоне разлома показали его морфо-кинематику в виде сдвига-сброса с возможными единовременными сейсмическими подвижками с амплитудой до 40 см.
- Беркакитская зона ВОЗ выделена в связи с одноименным активным разломом. Средняя глубина возникновения гипоцентров ожидаемых землетрясений 10–15 км [6]. Геолого-геоморфологические и геофизические наблюдения в зоне разлома показали его морфо-кинематику в виде взброса с возможными единовременными сейсмическими подвижками с амплитудой до 30 см.
- Южно-Якутская зона ВОЗ выделена в связи с одноименным активным разломом надвиговой морфологии, имеющим несколько структурных ветвей. К западу от г. Нерюнгри, в связи со сходством параметров, зона объединяется с северной ветвью Северо-Станового разлома в единую сейсмогенерирующую структуру. Геолого-геоморфологические, геофизические и палеосейсмогеологические наблюдения в зоне Южно-Якутского разлома показали его морфо-кинематику в виде взброса с возможными единовременными сейсмическими подвижками с амплитудой до 50 см.
- Верхне-Гонамская зона ВОЗ выделена в зоне одноименного активного разлома сдвиговой морфологии. Геолого-геоморфологические наблюдения в зоне разлома показали его морфо-кинематику в виде правостороннего сдвига с возможными единовременными сейсмическими подвижками с амплитудой до 40 см.

Становая зона ВОЗ выделена в зоне Южно-Станового активного голоценового разлома с взбросо-сдвиговой морфологией смещений.

Оценки максимально возможной магнитуды землетрясений в целом для изучаемой территории совпадают с расчетами по методике из работы [12]. Однако чередование субширотных

структур с высоким и пониженным сейсмическим потенциалом отмечается впервые. Найденная сейсмодислокация севернее п. Чульман (Чульмаканская, рис. 2) укладывается в данную закономерность, и, в сущности, предопределяет необходимость дальнейших детальных исследований по изучению сейсмической опасности Южной Якутии. В свете планируемого промышленного развития региона данная задача имеет не только чисто научное, но и практическое значение.

Список литературы

1. Рогожин Е. А., Богачкин Б. М., Иогансон Л. И. и др. Опыт выделения и прослеживания сейсмогенерирующих зон методами геолого-тектонического анализа на территории Западной Монголии и Зайсано-Алтайской складчатой области. Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. М.: ИФЗ РАН. 1995. Вып. 2/3. С. 132–152.
2. Солоненко В. П. Определение эпицентральных зон землетрясений по геологическим признакам // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1962. № 11. С. 58–74.
3. Трифонов В. Т., Кожурин А. И., Лукина Н. В. Изучение и картирование активных разломов. Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. М.: ОИФЗ РАН. 1993. Т. 1. С. 196–206.
4. Трифонов В. Т., Бачманов Д. М., Имаев В. С. Принципы и технологии использования геологических данных для оценки сейсмической опасности (на примерах Сирии и Фенноскандии) // Инженерные изыскания, 2000. – С. 44–51.
5. Трофименко С. В. Оценка энергии возможного землетрясения Олекмо-Становой зоны // Горный информационно-аналитический бюллетень/Региональное приложение ЯКУТИЯ. Выпуск 3. – М: Изд-во МГГУ, 2006. – С. 149–154.
6. Трофименко С. В. Разломная тектоника и геодинамика в моделях очаговых зон сильных землетрясений Южной Якутии / В.С. Имаев, С. В. Трофименко, В. И. Имаева, Н. Н. Гриб, Б. М. Козьмин, В. М. Никитин, А. И. Мельников, А. С. Статива. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 274 с.
7. Трофименко С. В. Детальные геолого-геофизические исследования зон активных разломов и сейсмическая опасность Южно-Якутского региона /А. Н. Овсяченко, С. В. Трофименко, А. В. Мараханов, П. С. Карасев, Е.А. Рогожин, В.С. Имаев, В. М. Никитин, Н. Н. Гриб // Тихоокеанская геология, 2009. – Т. 28. – № 4. – С. 55–74.
8. Трофименко С. В. Очаговые зоны сильных землетрясений Южной Якутии /А. Н. Овсяченко, С. В. Трофименко, А. В. Мараханов, П. С. Карасев, Е. А. Рогожин //Физика Земли. 2009. № 2. – С. 15–33.

9. Трофименко С. В. Сейсмоструктура переходной области от Байкальской рифтовой зоны к орогенному поднятию Станового хребта [Текст] / А. Н. Овсяченко, С. В. Трофименко, А. В. Мараханов, П. С. Карасев, Е. А. Рогожин // Геотектоника, 2010, № 1. С. 29–51.
10. Трофименко С. В. Тектоническая интерпретация статистической модели распределений азимутов аномалий гравимагнитных полей Алданского щита // Тихоокеанская геология. – 2010. – Том 29. – № 3. – С. 64–77.
11. Трофименко С. В. Активные нектонические нарушения участка Алдан-Нагорный нефтепроводной системы Восточная Сибирь – Тихий океан / П. С. Карасев, А. Н. Овсяченко, А. В. Мараханов, С. В. Трофименко // Нефтяное хозяйство. – 2008. – № 9. – С. 80–84.
12. Фотиади Э. Э., Есиков Н. П., Бочаров Г. В. и др. Тектонофизическое районирование зоны сочленения Алданского щита и Станового нагорья по данным геодезических измерений // Геология и геофизика. 1982. № 3. – С. 3–15.
13. Шебалин Н. В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. – С. 95–111.
14. Шерман С. И. Физические закономерности развития разломов земной коры. Новосибирск: Наука, 1977. – 102 с.
15. Wells D. L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // Bull. Seis. Soc. Am. 1994. V. 84. № 4. – P. 974–1002.

Рецензенты:

Самохин А.В., д.т.н., профессор, профессор по кафедре «Физика и прикладная математика», Муромский филиал Владимирского государственного университета, г.Муром.

Смелов А.П., д.г.-м.н., профессор, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук, г.Якутск.