

А.А. КАБАНОВ, С.-С.С. МОНГУШ

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)

РАЗВИТИЕ И ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТЫВА В 2017–2020 годах

В мировой практике имеется достаточно успешный и продолжительный мониторинг геолого-геофизической среды — наблюдения за сейсмическими событиями. С учётом этого мониторинга сейсмическая опасность на территории России задаётся картами общего сейсмического районирования ОСР–97 (Комплект карт..., 1999). Как правило, исходными данными для построения карты в баллах являются оценки магнитуд в выделенных зонах возможных очагов землетрясений (зоны ВОЗ). Анализ и оценка современных представлений о сейсмичности Земли указывает на её глобальный характер. Это проявляется в следующем: 1) землетрясения происходят во многих местах земной поверхности; 2) рост / убывание количества землетрясений в одних частях Земли сопровождается и ростом / убыванием в других областях Земли, достаточно далеко отстоящих от первых; 3) имеются глобальные закономерности широтного распределения сейсмической активности.

Ключевые слова: сейсмический мониторинг, повторяемость, землетрясения, очаги, космоснимки, обработка данных.

Рис. 10. Табл. 1. Библ. 9 назв. С. 37–45.

A.A. KABANOV, S.-S.S. MONGUSH

Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources of SB RAS (Kyzyl, Russia)

ANALYSIS AND ASSESSMENT OF SEISMIC ACTIVITY IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF TUVA IN 2017–2020

In world practice, there is a quite successful and long-term monitoring of the geological-geophysical environment - observations of seismic events. The seismic hazard on the territory of Russia is set by the maps of the general seismic zoning of SR–97 according to the mentioned monitoring (Комплект карт..., 1999). As a rule, the initial data for constructing a map in points are estimates of magnitudes in the selected zones of possible earthquake centers (WHO zones). The analysis and evaluation of modern ideas about the seismicity of the Earth indicates its global nature. This is manifested in the following: 1) earthquakes occur in many places on the earth's surface; 2) the increase / decrease in the number of earthquakes in some parts of the Earth is accompanied by an increase / decrease in other areas of the Earth that are far enough away from the first; 3) there are global patterns of latitudinal distribution of seismic activity.

Keywords: seismic monitoring, frequency, earthquakes, centers, space images, data processing.

Figures 10. Table 1. References 9. P. 37–45.

Усиление в последние годы геодинамической активности в очаговых зонах Алтае-Саянской сейсмоактивной области (АССО), представляющих реальную опасность для территории Республики Тыва, вызвало необходимость создания эффективной системы геомониторинга, которая достаточно подробно описана в (Лыгин и др., 2015).

Для прогноза сейсмической опасности в сейсмоактивных регионах России (Кавказ, Алтае-Саянская область, Камчатка, Сахалин) получили развитие геодинамические полигоны для контроля напряжённо-деформированного состояния (НДС) геологической среды в промышленных зонах, в т. ч. и в крупных городах. Современная идеология развития данных полигонов базируется на комплексировании различных

геолого-геофизических методов (сейсмология, электромагнитные измерения, ГГД мониторинг, мониторинг газов и т. д.). За последние 10 лет накоплен значительный экспериментальный материал по применению геолого-геофизических методов на геодинамических полигонах (Викулин, 2003).

Информационной и методической основой обеспечения геодинамической безопасности исследуемого региона являются результаты мониторинга очаговых областей сильных землетрясений. В этой связи, важным является систематизация современных подходов при проведении мониторинга естественных геофизических полей в рамках полигонных исследований на территории АССО и Республики Тыва.

В Республике Тыва в 2010 г. была создана региональная сеть сейсмического мониторинга по соглашению с ЗАО «Научно-техническая компания Союзтехнопроект» (Москва) в рамках Государственного контракта от 14 апреля 2009 года. «Разработка и реализация пилотного проекта по оценке состояния и повышению защищённости критически важных объектов субъекта Российской Федерации от угроз сейсмического характера на примере Республики Тыва» в 2009–2010 годах. Субъектами этой сети являлись: Центр обработки сейсмических данных (ЦМЭИЧС РТ) на базе ТувИКОПР СО РАН и сейсмические станции непрерывной записи «Чадан», «Туран», «Эржей» и «Самагалтай».

В настоящее время на территории Тувы действуют 9 сейсмостанций: из них 3 принадлежат СО РАН, 2 — Краевому государственному бюджетному учреждению «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края», 4 — Центру мониторинга эндогенных источников чрезвычайных ситуаций (ЦМЭИ) ТувИКОПР СО РАН: вблизи населённых пунктов Чадан, Туран, Эржей, Самагалтай.

В мае 2021 г. на пунктах наблюдения «Чадан», «Туран», «Эржей» и «Самагалтай» выполнено обновление аппаратурной базы. Смонтированы и введены в эксплуатацию современные регистраторы сейсмических сигналов «Байкал-8» (ООО «Экспас» (Новосибирск)).

Этот 6-канальный регистратор сейсмических сигналов с высокоразрядным аналого-цифровым преобразователем (АЦП), представляет собой автономную мобильную сейсмическую станцию для записи сигналов от внешних сейсмических датчиков в широком диапазоне частот с высокой точностью и привязкой к абсолютному времени. Большой объём энергонезависимой памяти, высокостабильный встроенный генератор и GPS-модуль, высококачественный аналого-цифровой тракт обеспечивают превосходные операционные характеристики для решения широкого класса задач.

Общее число землетрясений на территории республики Тыва, обработанных и вошедших в каталог 2017–2020 г. составило 1910 сейсмособытий (*рис. 1*) за период с 01.01.2017 г. по 15.10.2020 г., распределение которых по энергетическим классам представлено в *таблице 1.* и на *рисунке 2.*

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам в каталоге за период с 01.01.2017 г. по 15.10.2020 г.

Число сейсмособытий (N)	17	378	779	454	217	40	20	5
Энергетический класс (К)	5	6	7	8	9	10	11	12

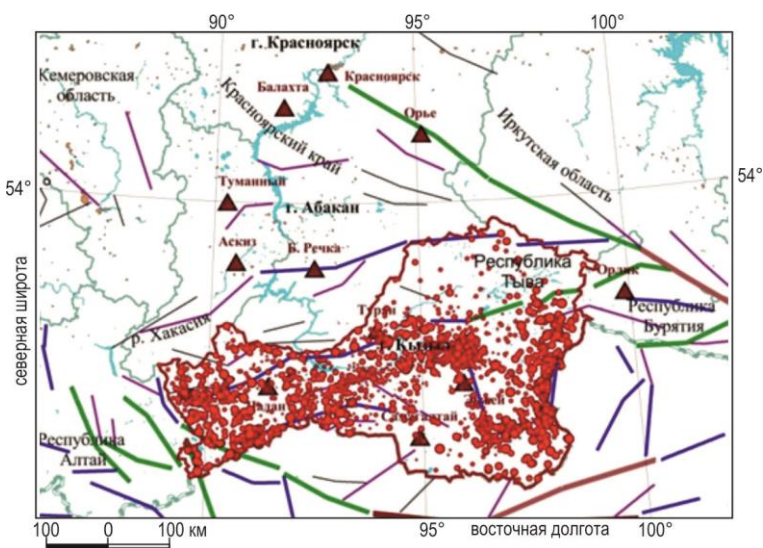


Рисунок 1. Землетрясения, зарегистрированные на территории Республики Тыва в 2017–2020 гг. (обозначены красным цветом)

На *рисунке 2* приведён график повторяемости сейсмических событий на территории республики Тыва в 2017–2020 гг. Выявлено, что сейсмический процесс здесь развивался закономерно.

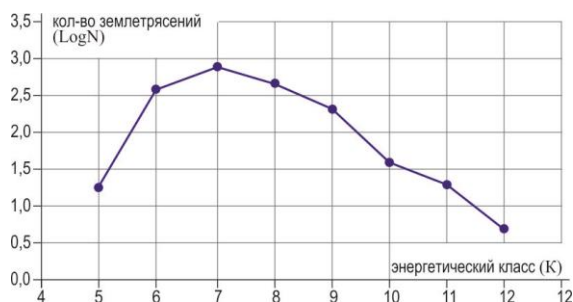


Рисунок 2. График повторяемости землетрясений в Республике Тыва в 2017–2020 гг.

За период 2017–2020 гг. на территории Республики Тыва было зарегистрировано 16 землетрясений $K \geq 11,0$ ($M \approx 3,9$ и выше). На *рисунке 3* эти сейсмособытия отмечены «красными звёздами». К зонам повышенной сейсмической активности будем относить те зоны, в которых за исследуемый период были зарегистрированы сейсмические события $K \geq 11,0$. Эти зоны выделены «чёрными кругами» (см. *рис. 3*). Таких зон повышенной сейсмоактивности оказалось 8, в 7 из которых произошли события с $K > 11$.

Анализ показал, что эти зоны повышенной сейсмоактивности приурочены к известным сейсмическим очагам и зонам возможных очагов землетрясений (ВОЗ). Детальное их рассмотрение позволило охарактеризовать каждую из этих зон:

Зона № 1 — юго-западная часть Республики Тыва, включает центральную часть Шапшальской очаговой зоны. В зоне зафиксировано 4 землетрясения $K \geq 11,0$.

Зона № 2 — юго-западная часть Республики Тыва — проявился ВОЗ. В зоне зафиксировано 1 землетрясение $K \geq 11,0$.

Зона № 3 — западная часть Республики Тыва — проявился Тээлинский ВОЗ в виде большого количества землетрясений $K < 11$ и 1 землетрясение $K \geq 11,0$.

Зона № 4 — центральная часть Республики Тыва, включая Үрбанский ВОЗ. В зоне зафиксировано 1 землетрясение $K \geq 11,0$.

Зона № 5 — центральная часть Республики Тыва — проявился Каа-Хемский очаг в виде большого количества землетрясений $K < 11$.

Зоны № 6, 7, 8 — в районе Бусийнгольского очага: северная, центральная и южная части вдоль разлома Бусийнгольской сейсмоактивной зоны, зарегистрировано 7 землетрясений $K \geq 11,0$.

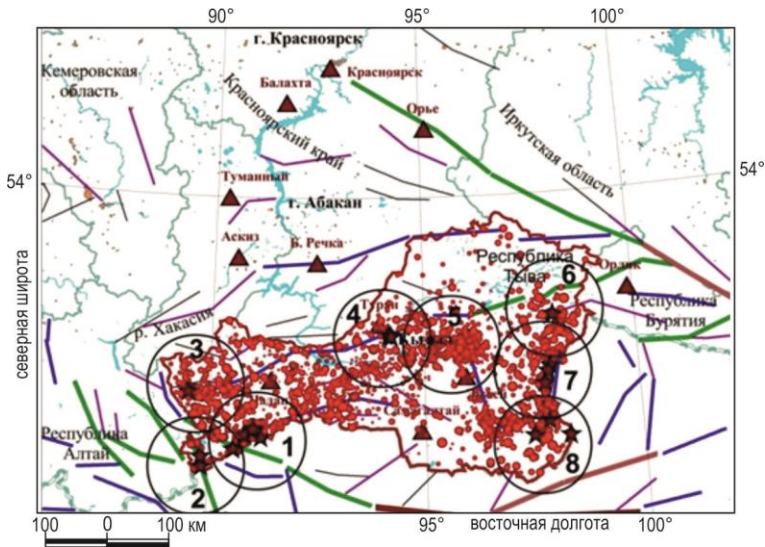


Рисунок 3. Землетрясения, зарегистрированные в 2017–2020 гг. на территории Республики Тыва и зоны повышенной сейсмической активности

В работе также проводился анализ сейсмической активности и на прилегающих сейсмоактивных территориях — центральная и южная часть Красноярского края и Республики Хакасия. Обозначим центральную и южную часть Красноярского края с границами от 53° по 56° с. ш. как Северную область, территорию Республики Тыва в границах с 49° по 53° с. ш. как Южную область.

Для оценки сейсмической опасности в исследуемых регионах учитывали распределение частот возникновения сейсмических событий с различными магнитудами. Результаты анализа приведены на *рисунке 4*, где по оси абсцисс отложена магнитуда, по оси ординат — частота возникновения землетрясения с определённой магнитудой.

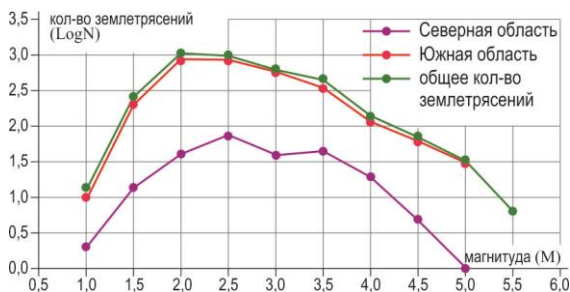


Рисунок 4. Зависимость частоты возникновения сейсмических событий от магнитуды

Отметим, что кроме землетрясений, зарегистрированных в северной и южной областях, анализировалось общее количество землетрясений. Таким образом, можно

говорить, что сейсмические процессы в Северной и Южной областях развиваются согласно закономерностям, описанным в (Викулин, 2003).

Если исходить из гипотезы о стохастической природе сейсмических событий, то вероятность сейсмического события можно описать формулой (Baker, 2008):

$$P^{\Delta t} = f(P_0 \text{ ч } P^{\Delta t} \text{ ч } P^{\Delta s} \text{ ч } P^{\gamma}),$$

где: $P^{\Delta t}$ — вероятность сейсмического события; P_0 — частота проявления сильных сейсмических событий ($M \geq N$) на прогнозной территории; $P^{\Delta t}$ — вероятность совпадения прогнозного интервала времени Δt (1–3 мес.) с циклом сейсмической активности T ; $P^{\Delta s}$ — вероятность местоположения эпицентра прогнозируемого события по отношению к центру прогнозной ячейки S_0 с точностью Δs ; P^{γ_i} — вероятность проявления признаков подготовки землетрясения в геолого-геофизических параметрах: γ_0 — эталонный признак (параметр) для $P = 1$, γ_i — текущий признак (параметр).

Необходимо констатировать, что вероятностный подход к прогнозу сейсмических событий в «чистом» виде не обеспечивает достоверность прогноза, т. к. сейсмический процесс не является по своей природе стохастическим и содержит в себе элементы детерминированности (на этапе подготовки сильного сейсмического события).

В нашей работе данные наблюдений изучались с помощью модели шиарлет-преобразования (Labate et al., 2008, Hauser, 2011). В качестве примера выполнена обработка (контрастирование) космоснимка территории Республики Тыва (рис. 5). Для выделения контура и фильтрации изображения был использован алгоритм быстрого дискретного шиарлет-преобразования.



Рисунок 5. Космоснимок исследуемой территории, полученный с <https://earth.google.com/web/>

Для выделения неоднородностей (геологических разломов, блоков) на земной поверхности применялась методика, изложенная в (Кабанов, Сибгатуллин, 2017):

- подготовительный этап, исходное изображение форматируется под расчётный шаблон и намечается последовательность расчётных процедур;
- запуск и настройка алгоритмического обеспечения шиарлет-преобразования, выбор конкретного алгоритма от яркости и контрастности изображения;
- загрузка и обработка исходных визуальных данных для различных расчётных условий;
- анализ получаемых изображений после применения шиарлет-преобразования;

- контрастирование изображения с помощью алгоритмов, которые задаются следующим образом: А — алгоритм FFST (Hauser, 2011); Б — алгоритм Shearlet toolbox (Labate et al., 2008).

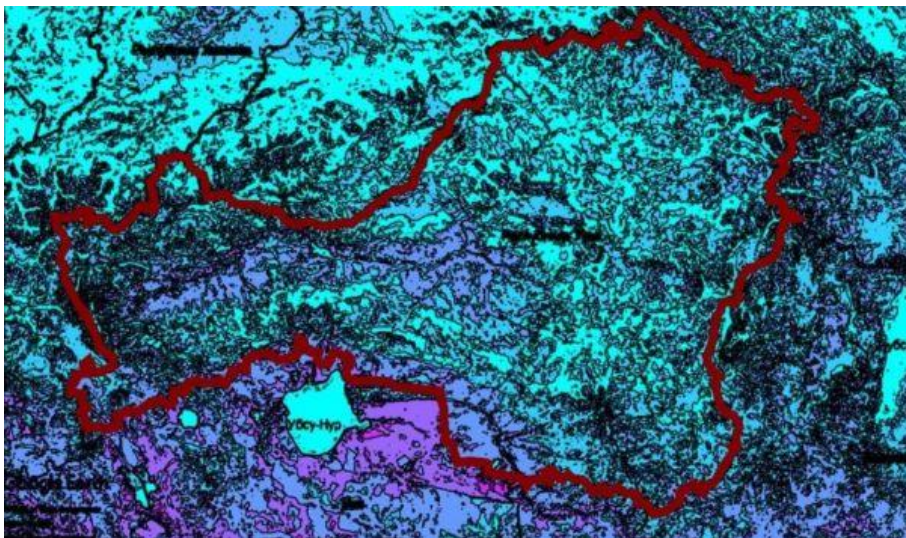


Рисунок 6. Космоснимок после обработки алгоритмом А

Результаты обработки с помощью двух алгоритмов А и Б представлены на *рисунках 6 и 7*. В итоге выполнен анализ выявленных неоднородностей (геологических разломов, блоков), показанных на *рисунках 8–10*.

Для определения качественных возможностей используемых моделей контрастирования изображения сопоставим полученные результаты с фрагментами линеаментов, лежащих в основе линеаментно-доменно-фокальной (ЛДФ) модели построения карт ОСР–2016 (Общее сейсмическое..., 2016).

На *рисунке 8* показан космоснимок с наложением сетки сейсмоактивных разломов.

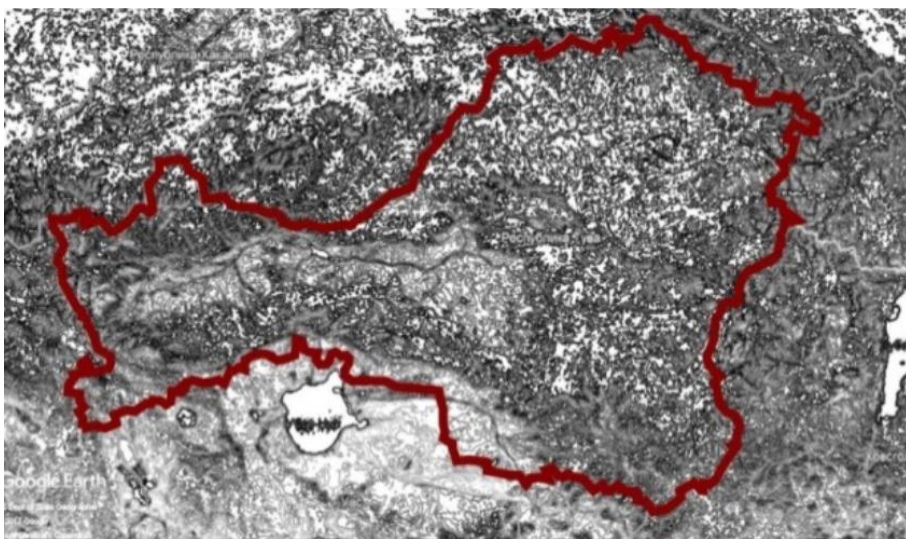


Рисунок 7. Космоснимок после обработки алгоритмом Б

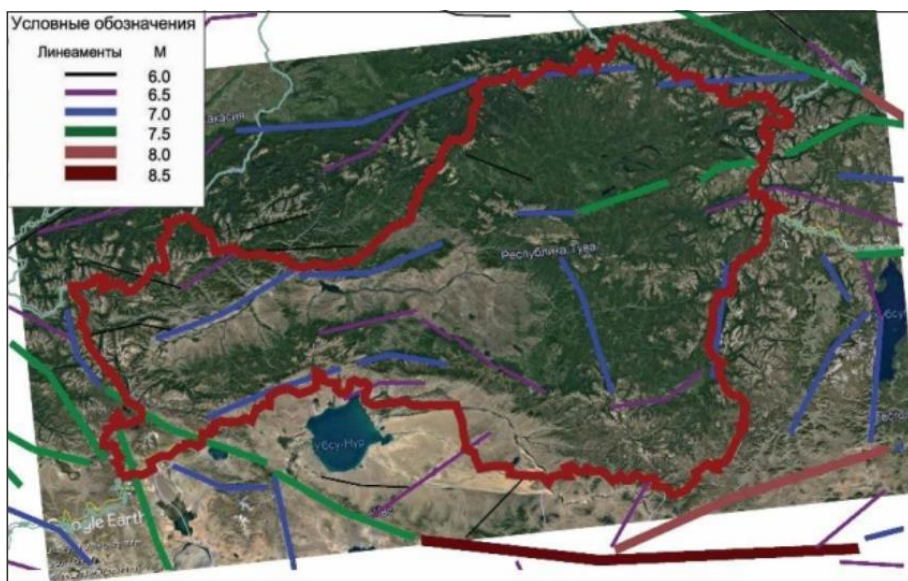


Рисунок 8. Космоснимок с наложением сетки сейсмоактивных разломов

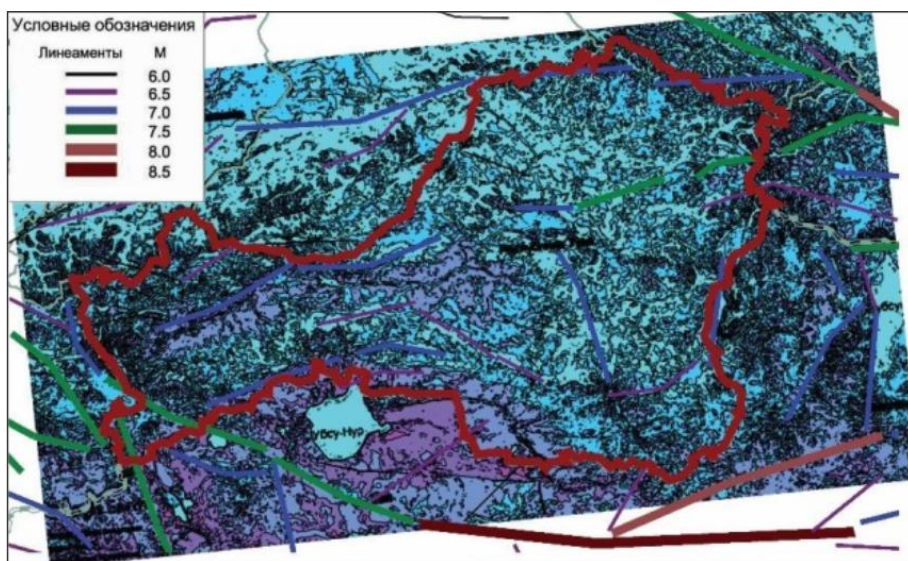


Рисунок 9. Космоснимок с наложением сетки сейсмоактивных разломов (обработан алгоритмом А)

Можно сделать следующие выводы. Во-первых, на исходном космоснимке (см. рис. 8) часть разломов, представленных на модели построения карт ОСР–2016, видна значительно хуже. Во-вторых, на контрастированных нами космоснимках большая часть разломов выделяется чётко (см. рис. 9, 10).

Полученные карты литосферы позволяют уточнить природную сейсмическую опасность, обусловленную пространственной геолого-геофизической неоднородностью литосферы региона. Особое внимание следует уделить Каа-Хемской, Билин-Бусийгольской, Шапшальской сейсмоактивным зонам, которые потенциально являются одними из наиболее опасных. Выше используемые модели (алгоритмы) обработки в виде контрастирования изображения на основе шпирлет-преобразования можно использовать для

выделения неоднородностей на космоснимках. Однако качество космических изображений для детального и точного выделения небольших или сложных элементов должно быть значительно выше, чем в используемом примере.

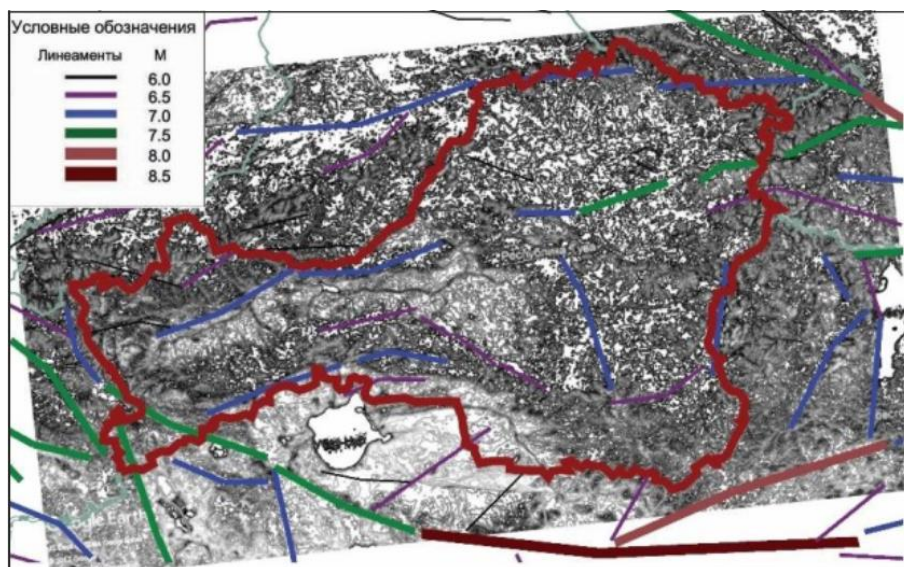


Рисунок 10. Космоснимок с наложением сетки сейсмоактивных разломов (обработан алгоритмом Б)

ЛИТЕРАТУРА

- Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса. – Петропавловск-Камчатский: КГПУ, 2003. – 151 с.
- Кабанов А.А., Сибгатулин В.Г. Возможности дистанционного зондирования Земли при сейсмическом мониторинге и оценке сейсмической опасности // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: Материалы IV Междунар. науч. конф. (12–15.09.2017, Красноярск) / Науч. ред. Е.А. Ваганов; отв. ред. Г.М. Цибульский. – Красноярск: СФУ, 2017. – С. 239–242.
- Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР–97. Масштаб 1 : 8 000 000: Объясн. зап. и список городов и населённых пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. – М.: ОИФЗ РАН, 1999. – 57 с.
- Лыгин А.М., Стажило-Алексеев С.К., Кадурын И.Н., Сибгатулин В.Г., Кабанов А.А. Мониторинг напряжённо-деформированного состояния геологической среды в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах в 2007–2014 годах: Монография. – Красноярск: Город, 2015. – 114 с.
- Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации: Пояснительная записка к комплекту карт ОСР–2016 и список населённых пунктов, расположенных в сейсмоактивных районах / Гл. ред. докт. физ.-мат. наук, проф. В.И. Уломов, канд. геол.-мин. наук М.И. Богданов [Электрон. ресурс]. – 2016. – 73 с. – Режим доступа: http://seismos-u.ifz.ru/documents/zapiska_OCR_2016.pdf, свободный.
- Электрон. ресурс: <https://earth.google.com/web/>, свободный.
- Baker J.W. An introduction to probabilistic seismic hazard analysis (PSHA) // Report for the US Nuclear Regulatory Commission, Version 1.3. – 2008. – Section 1. – P. 5–27.
- Hauser S. Fast finite shearlet transform: a tutorial. – Kaiserslautern: University of Kaiserslautern, 2011, 34 p. (preprint)
- Labate D., Easley G., Lim W. Sparse directional image representations using the discrete shearlet transform // Applied Computational Harmonic Analysis. – 2008. – Vol. 25. – P. 25–46.

REFERENCES

- Vikulin A.V. Fizika volnovogo seismicheskogo protsessa [Physics of the wave seismic process]. – Petropavlovsk-Kamchatskiy, KGPU Publ., 2003.151 p. (In Russ.)
- Kabanov A.A., Sibgatulin V.G. Vozможности distantsionnogo zondirovaniya Zemli pri seismicheskom monitoringe i otsenke seismicheskoy opasnosti [Possibilities of remote sensing of the Earth in seismic monitoring and seismic hazard assessment]. Regional problems of remote sensing of the Earth: Proceedings of the IV International Scientific Conference (12–15.09.2017, Krasnoyarsk) / sc. ed. E.A. Vaganov; ed. by G.M. Tsubulsky. Krasnoyarsk, SFU, 2017, pp. 239–242. (In Russ.)
- Komplekt kart obshchego seismicheskogo rayonirovaniya territorii Rossiyskoy Federatsii OSR–97. Masshtab 1 : 8 000 000 [A set of maps of the general seismic zoning of the territory of the Russian Federation OSR-97. Scale 1 : 8 000 000]: Explanatory note and list of cities and towns located in earthquake areas. Moscow, OIFZ RAN Publ., 1999, 57 p. (In Russ.)
- Lygin A.M., Stazhilo-Alekseyev S.K., Kadurin I.N., Sibgatulin V.G., Kabanov A.A. *Monitoring napryazhonno-deformirovannogo sostoyaniya geologicheskoy sredy v Sibirskom i Dal'nevostochnom federal'nykh okrugakh v 2007–2014 godakh* [Monitoring of the Stress-Strain State of the Geological Environment in the Siberian and Far Eastern Federal Districts in 2007–2014]: Monograph. Krasnoyarsk, City Publ., 2015, 114 p. (In Russ.)
- Obshcheye seismicheskoye rayonirovaniye territorii Rossiyskoy Federatsii* [General seismic zoning of the territory of the Russian Federation]: Explanatory note to the set of OSR-2016 maps and a list of settlements located in seismically active areas / sc. ed. V.I. Ulomov; ed. by M.I. Bogdanov. 2016, 73 p. Available at: http://seismos-u.ifz.ru/documents/zapiska_OCP_2016.pdf. (In Russ.)
- Available at: <https://earth.google.com/web/>. (In Russ.)
- Baker J.W. An introduction to probabilistic seismic hazard analysis (PSHA). *Report for the US Nuclear Regulatory Commission*, Version 1.3, 2008, Section 1, pp. 5–27.
- Hauser S. *Fast finite shearlet transform: a tutorial*. Kaiserslautern, University of Kaiserslautern, 2011, 34 p. (preprint)
- Labate D., Easley G., Lim W. Sparse directional image representations using the discrete shearlet transform. *Applied Computational Harmonic Analysis*, 2008, vol. 25, pp. 25–46.

УДК: 552.322+552.323+552.11

DOI: 10.24412/2658-4441-2022-4-45–66

А.А. МОНГУШ, Е.К. ДРУЖКОВА, Л.К. ГОРШКОВА,
Д.П. ГОРБУНОВ

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН (Кызыл, Россия)

ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕНД-НИЖНЕКЕМБРИЙСКИХ ДАЕК И ЛАВ ОСНОВНОГО СОСТАВА ЗАПАДНОЙ ТУВЫ И КУРТУШИБИНСКОГО ХРЕБТА И ИХ ВОЗМОЖНАЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА

Петрохимический состав венд-нижнекембрийских дайковых и лавовых пород основного состава свидетельствует об определённых различиях в составе даек с одной стороны, и лав с другой. Отсутствуют принципиальные различия между дайками Западной Тувы и Куртушибинского хребта и между лавами Западной