

УДК 550.34.343

## ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И МЕТОДАМИ ИЗОТОПНОЙ ГЕОХИМИИ

Кужугет К.С., Рычкова К.М., Лебедев В.И., Монгуш С-С.С., Аюнова О.Д.

ФГБУН «Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов»  
Сибирского отделения Российской академии наук, Кызыл, e-mail: tikopr@mail.ru

В статье рассматривается оценка сейсмической и тектоно-магматической активности на основе данных сети сейсмических станций и методами изотопной геохимии. Приведен анализ пространственно-временного распределения эпицентров землетрясений Тувы и прилегающих территорий. Приведен анализ химического состава и гелия источника озера Дус-Холь в связи с сейсмическими событиями 2013–2014 гг. Выявлены индикаторы сейсмогеодинамической активности в Центрально-Тувинской котловине Тувы. Отмечена необходимость создания эффективных систем мониторинга и прогноза землетрясений, обеспечивающих более высокий уровень безопасности населения и объектов инфраструктуры. Неустойчивое состояние литосферы диктует необходимость продолжения и расширения мониторинга подземных флюидов. Возрастающая сейсмоактивность, ввод в эксплуатацию ответственных инженерных сооружений и коммуникаций требуют обоснования выбора современного комплекса методов наблюдения сейсмической активности, проведения мониторинга.

**Ключевые слова:** сейсмическая активность, сейсмомониторинг, газогеохимические показатели, изотопный состав

## EVALUATION OF SEISMIC SAFETY BASED ON REGIONAL NETWORK DATA OF SEISMIC STATIONS AND BY METHODS OF ISOTOPE GEOCHEMISTRY

Kuzhuget K.S., Rychkova K.M., Lebedev V.I., Mongush S-S.S., Ayunova O.D.

Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kyzyl, e-mail: tikopr@mail.ru

Evaluation of seismic and tectono-magmatic activity is examined in the paper which is based on network data of seismic stations and by methods of isotope geochemistry. The analysis of spatial and temporal distribution of earthquakes epicenters of Tuva and the surrounding areas is carried out. The analysis of chemical composition and helium as a source of Lake Dus-Khol are presented because of seismic events of 2013–2014. Seismogeodynamic activity indicators are identified in the Central-Tuvian basin of Tuva. The necessity of creating effective monitoring system and earthquake prediction system is outlined which guarantee high level safety of the population and infrastructure objects. The unstable state of the lithosphere necessitates continuation and expansion of underground fluids monitoring. Increasing seismic activity, setting to work responsible engineering constructions and utility services require choice substantiation of up-date complex methods of seismic activity monitoring.

**Keywords:** seismic activity, seismomonitoring, gas-geochemical indicators, isotopic composition

Республика Тыва среди регионов России отнесена к первой группе сейсмического риска с индексом 1,8. Высокая сейсмичность территории обусловлена сложным геологическим строением и активным проявлением многократных тектоно-магматических процессов в геологической истории формирования континентальной коры Тувино-Монгольского сектора Центрально-Азиатского подвижного пояса [2]. На территорию Тувы приходится около 26% от общего количества зарегистрированных сильных землетрясений в Алтае-Саянской области. Главной особенностью проявления здесь сейсмичности является многочисленность землетрясений энергетического класса  $K > 10$  и линейно-узловое размещение эпицентров (рис. 1, 2).

### Цель исследования

Целью исследования являлись параметрическая оценка сейсмической и тектоно-магматической активности региона. Анализ

уровня сейсмического контроля и мониторинга на территории Тывы.

### Материалы и методы исследования

Одним из методов оценки сейсмической активности в настоящее время являются данные отдаленных региональных сейсмостанций. Созданная система сбора и обработки сейсмической информации направлена на изучение и анализ современной сейсмической активности территории.

Параметрическая оценка сейсмической и тектоно-магматической активности невозможна без инструментального изучения теплового поля и оценки геодинамического состояния этого сегмента литосферы, с 2003 г. для оценки теплового потока применялись современные методы газовой геохимии анализа проб из многочисленных очагов. термоминеральной разгрузки [1].

### Результаты исследования и их обсуждение

С начала 1960-х гг. в данном регионе начала формироваться сеть сейсмологических станций, в результате работы которой к настоящему времени накоплен

экспериментальный материал об особенностях сейсмического процесса региона. В настоящее время на территории Тувы действуют 9 сейсмостанций: 3 станции – СО РАН (Новосибирск), 2 станции – КНИИГиМС (Красноярск), 4 станции – Центр мониторинга эндогенных источников чрезвычайных ситуаций (ЦМЭИ ЧС РТ) ТИКОПР СО РАН (г. Кызыл), расположенных в населенных пунктах Чадан, Туран, Эржей, Самагалтай в Республике Тыва (рис. 1). Установленные сейсмологические комплексы (ЦМЭИ ЧС РТ) оснащены цифровыми сейсмостанциями УГРА-2, промышленными компьютерами для сбора и обработки сейсмологических данных, терминалами спутниковой связи, работающими в стационарном режиме. Станции работают в постоянном режиме с 2010 г., за исключением аварийных ситуаций. По данным сейсмостанций (г. Кызыл) рассчитываются координаты, магнитуда (М), энергетический класс (К), результаты вносятся в единый каталог. Каталог содержит данные о сейсмических событиях региона начиная с 1960 г. Для доинструментального и раннеинструментального периода привлекаются архивные данные [5].

За период наблюдений на территории Тувы и близлежащих территориях произошло более 11000 сейсмических событий. В пространственном распределении землетрясений выделяются линейные и узловые зоны сгущения эпицентров, отражающие разломно-блоковое строение территории (рис. 1). Зоны, сейсмически активные в настоящее время, проявляются магнитудами более 4 (рис. 2).

Как сейсмически активные выделяются складчатые сооружения Восточно-Тувинского нагорья, Юго-Западной Тувы, Горного Алтая и Северо-Западной Монголии. Активизации тесно связаны с крупнейшими землетрясениями и в большей своей части протекают как афтершоковый процесс (рис. 3). Наиболее высокая сейсмическая активность отмечена в восточной Туве, связанная с проявлением Тайрисингольского и Билино-Бусийного систем разломов глубинного заложения, примыкающих к юго-западному флангу Байкальской внутриконтинентальной рифтовой системы. Территория юго-западной Тувы представляет собой район сочленения крупнейших Шапшальского, Цаган-Шибетинского глубинных разломов, проявленных многочисленными землетрясениями и землетрясениями с магнитудами более 5,5 (рис. 3) [2].

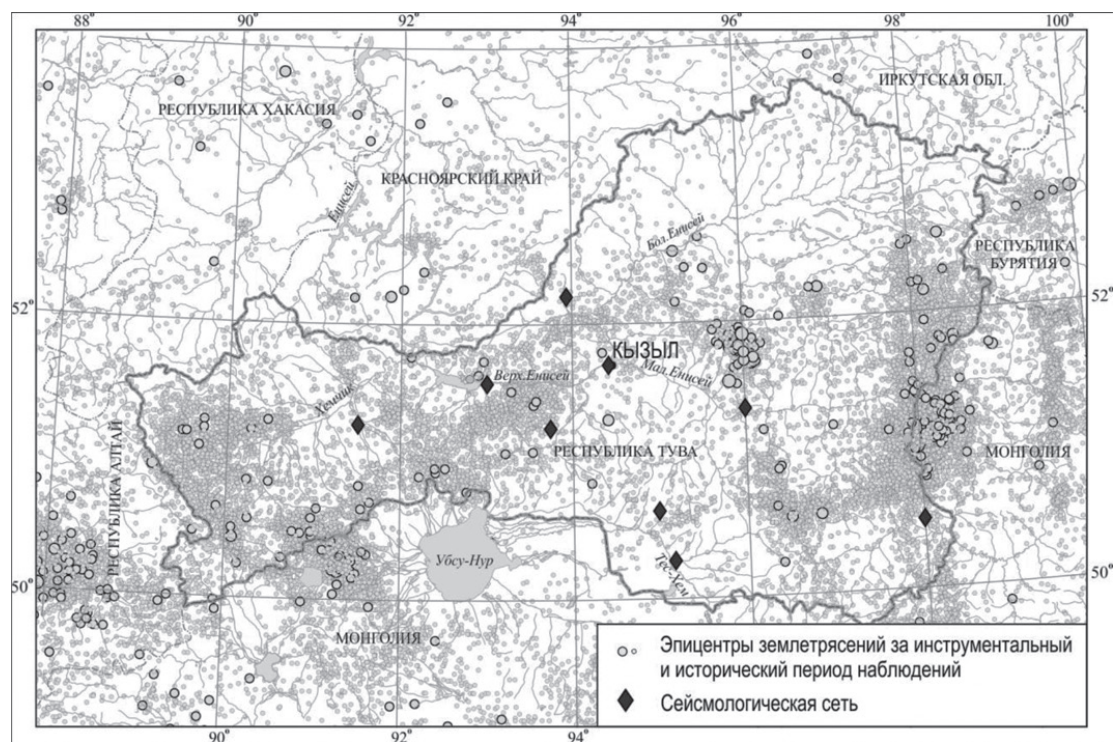


Рис. 1. Пространственное распределение эпицентров землетрясений за исторический и инструментальный период наблюдений. Схема размещения сейсмологической сети

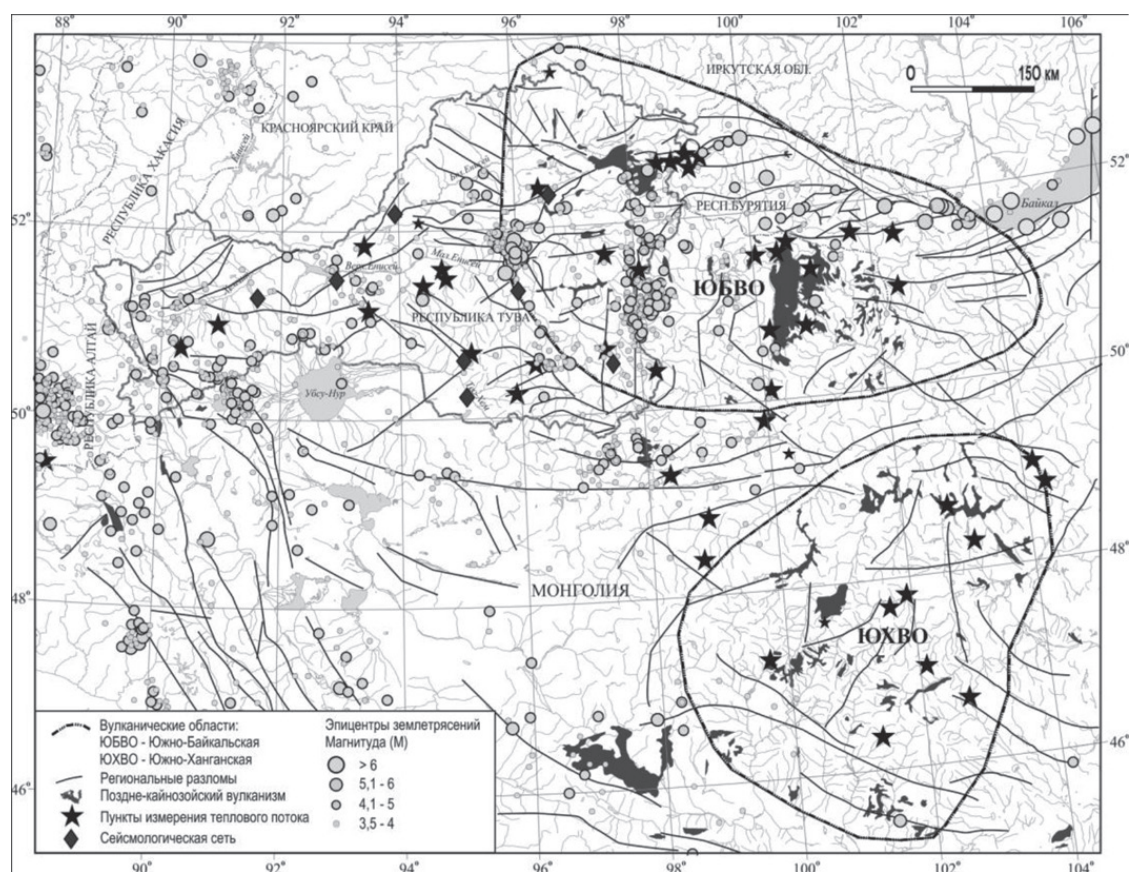


Рис. 2. Ареалы повышенных концентраций мантийного гелия и пункты измерений теплового потока

В последние годы исследованы 5 очагов современной геотермальной деятельности, приуроченных к активным разломам в бортовой части Билин-Бусийнгольского рифтогенного грабена и его горном обрамлении. Пробы отобраны из многочисленных горячих источников в центральной части рифта (в районе сезонного курорта Уш-Бельдир), из термальных источников Эми-Бусийнгольской зоны (Тарыс), из источников Салдам, приуроченных к зоне сопряжения Агардагского и Бусийнгольского разломов, из источников Маймалыш в срединной части хребта академика Обручева, из сероводородного источника Нарын в западной части Сангиленского поднятия (рис. 2). Новейшие данные по изотопному составу минеральных источников подтверждают ареальное распространение мантийного гелия, доля которого во флюидах термальных источников, выводимых как глубинными, так и опережающими локальными разломами, достигает 12–20%, что указывает на высокую активность раз-

ломных структур Восточной Тувы, а также свидетельствует о расширении изотопно-гелиевой аномалии Байкальского рифта в западном направлении.

В центральной части Тувы в мониторинговом режиме проведены исследования химического состава и изотопов гелия гидроминеральных источников озера Дус-Холь. Наблюдаемый период с 08.08.2013 по 28.08.2014 г. характеризуется сейсмическим затишьем. Установлены отклики на землетрясение (26.04.14 г.) с магнитудой 2,0 на расстоянии 43 км от пункта наблюдения.

Практически все элементы, за исключением отдельных, вышли за пределы диапазона фонового изменения параметра. Аномалии имеют скачкообразный вид как положительного, так и отрицательного знака преимущественно постсейсмического характера. Исключения составляют катион  $Cl^-$ , анионы  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $PH$ ,  $Bг$ , имеющие пред- и постсейсмические изменения, при этом предсейсмические

имеют положительный знак, по амплитуде уступающие постсейсмическим. Наиболее чувствительными предсейсмическими изменениями характеризуются хлор, натрий и минерализация. У Cl наблюдается предсейсмическое увеличение концентрации до 1100 мг/л; постсейсмическое уменьшение до 100 мг/л при среднем 701,9 мг/л. Na<sup>+</sup> характеризуется предсейсмическим увеличением концентрации до 540 мг/л и постсейсмическим уменьшением до 230 мг/л при среднем в 441 мг/л. Минерализация увеличилась до 2700 мг/л, а затем уменьшилась до 1800 мг/л при среднем 2389 мг/л. Предсейсмическое содержание Mg<sup>2+</sup> незначительно увеличивается до 180 мг/л при среднем 135 мг/л.

Постсейсмические изменения характерны для катионов и анионов. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> откликается постсейсмическим уменьшением концентрации до 200 мг/л при среднем 517 мг/л. Для HCO<sub>3</sub> постсейсмическая концентрация достигает 1150 при среднем 449 мг/л. Концентрация Ca<sup>2+</sup> уменьшается после землетрясения до 70 мг/л при среднем 152 мг/л. Постсейсмическое содержание водорастворенного газа CO<sub>2</sub> увеличилось до 65 мг/л при среднем в 16 мг/л.

Наиболее аномальным постсейсмическим изменением среди микроэлементов выделяется Fe(общ), которое при среднем содержании в 0,08 мг/л увеличилось более чем в 6 раз.

Среди микроэлементов выделяется аномальное постсейсмическое содержание железа общего до 0,49 мг/л при среднем 0,08 мг/л. Такие микроэлементы, как Br, F, Si, B, Sr, характеризуются незначительными постсейсмическими выходами как положительного, так и отрицательного знака за пределы диапазона фонового изменения параметра.

Скачкообразный вид аномалий обусловлен, по-видимому, первоначальным сжатием трещин, в результате чего на выходе увеличилась концентрация наиболее преобладающих в составе элементов, а затем расширением трещин и уменьшением их концентраций. Близость очага землетрясения и незначительная сила толчка, по-видимому, также объясняют скачкообразный характер изменений. Причиной реакции состава подземных вод на событие с M = 2 является наличие скрытого глубинного разлома север-северо-западного простирания, ограничивающего овалыные блоки ранних каледонид. Определялись следующие величины: C<sub>ф</sub> – фоновая величина параметра; S<sub>ф</sub> – среднее квадратичное отклонение в период фоновых вариаций; C<sub>ф</sub> ± 2S<sub>ф</sub> – диапазон фонового изменения параметра. По результатам детального изучения элементного состава проб воды за период исследований выделяются скачкообразные изменения (более двух стандартных отклонений) (рис. 3) [4].

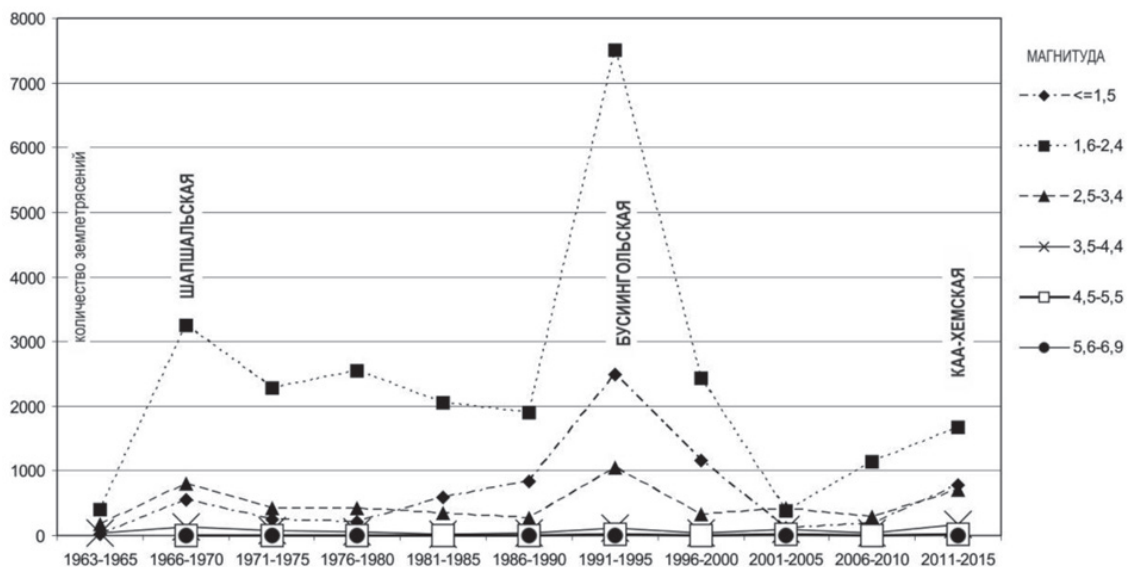


Рис. 3. График распределения магнитуд по интервалам времени

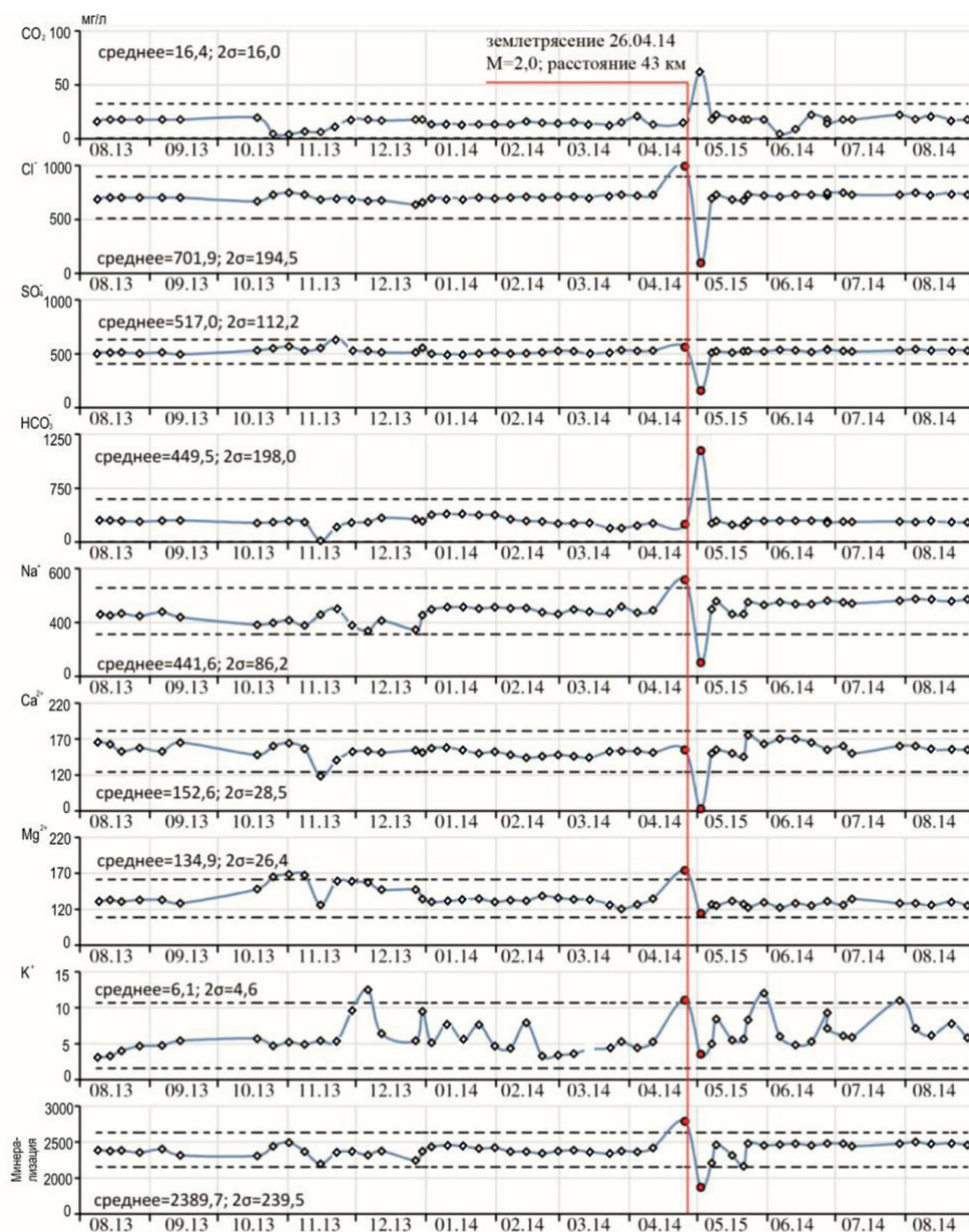


Рис. 4. Динамика изменения макроэлементного состава и минерализации проб воды Западного источника оз. Дус-Холь. Пунктирной линией отмечены два стандартных отклонения. Круглыми значками – до и после землетрясений магнитудой равной 2

### Выводы

Регион Тувы обладает большим разнообразием геологических и тектонических условий. По обобщенным данным сейсмического мониторинга выделены основные сейсмоактивные зоны области [3]. Периодичность и частота сейсмических событий и событий с высоким классом опасности свидетельствуют о тектоно-магматической активизации региона. Проявления сильных

землетрясений приурочены к периодам возникновения максимальных аномалий геофизических и геохимических полей, отражающих критическое неустойчивое напряженно-деформированное состояние земной коры. Результаты свидетельствуют о необходимости продолжения и расширения наблюдения режима минеральных вод источников Западный и Восточный оз. Дус-Холь. Поиск и выявление геохимических показателей сейсмоминеральной

активности земных недр, изучение гелионосности подземных вод горно-складчатых районов и переходных зон орогена имеет большое научное и практическое значение в прогнозе сейсмоактивности Тувы. Необходимо расширение автоматизированной цифровой сети непрерывного сейсмического мониторинга, создание геодинамических полигонов в сейсмоактивных районах Тувы. Необходима развернутая система связи и передачи соответствующих данных в информационно-обрабатывающие центры различных ведомств.

#### Список литературы

1. Дучков А.Д., Рычкова К.М., Лебедев В.И. и др. Оценки теплового потока Тувы по данным об изотопах гелия в термоминеральных источниках. Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 2. – С. 264–276.
2. Кужугет К.С., Монгуш С.С.С. Мониторинг землетрясений Центральной Тувы. – Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки. – 2014. – № 3 (22). – С. 155–159.
3. Лебедев В.И., Рычкова К.М., Дучков А.Д., Каменский И.Л., Чуликова С.А. Сейсмическая и геотермальная активность на территории Тувы и сопредельных регионов. // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Эколого-экономические проблемы природопользования: Вып. 13–14 / Отв. ред. докт. геол.-мин. наук В.И. Лебедев – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН. – 2014. – С. 64.
4. Лебедев В.И., Ярмолук В.В., Сугоракова А.М. и др. Новейший вулканизм и вероятность тектономагматической активизации сейсмоопасных зон на территории Тувы // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества: Научные труды ТувИКОПР СО РАН / Отв. ред.: д.г.-м.н. В.И. Лебедев. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2001. – С. 46–52.
5. Рычкова К.М., Монгуш С.С.С., Копылова Ю.Г., Сат Х.Н. Газогеохимические показатели сейсμοдинамической активности (Центральная Тува, оз. Дус-Холь). – Сейсмическая безопасность региона и воздействие сейсмологических и социально-экономических факторов на его развитие: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (17–18 ноября 2015 г.). – Кызыл: РИО ТувГУ, 2015. – С. 87–91.