



Chupikova Svetlana - candidate of geographical Sciences, head of laboratory of mathematical modeling of the Federal state budgetary institution of science of the Tuva Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS (TuvIENR SB RAS), senior lecturer of the Department of geography and tourism of FSBEI HPE Tuva State University (TuvSU), E-mail: s_fom@inbox.ru

УДК 550.341.5

СЕЙСМОГЕОЛОГИЯ И ГЕОТЕРМИКА ТЕРРИТОРИИ ТУВЫ

*Лебедев В.И.^{1,2}, Дучков А.Д.³, Каменский И.А.⁴, Чупикова С.А.^{1,2}, Рычкова К.М.¹
Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН¹, Кызыл
Тувинский государственный университет², Кызыл*

SEISMOGEOLOGY AND GEOTERMICA OF THE TERRITORY OF TUVA

*Lebedev V.I.^{1,2}, Duchkova A.D.³, Kamenskiy I.A.⁴, Chupikova S.A.^{1,2}, Rychkova K.M.¹
Tuva Institute for Exploration of Natural Resources of the Siberian Branch of the Russian
Academy of Sciences¹, Kyzyl
Tuva State University², Kyzyl*

В статье обобщены результаты исследований, выполненных с целью экспертной оценки уровня сейсмической опасности и сейсмического риска в Республике Тыва, которая среди регионов России отнесена к первой группе сейсмического риска с индексом 1.8. Приведена информация о целесообразности создания геодинамического полигона на территории Республики Тыва, а также о результатах определения изотопно-гелиевых отношений во флюидах геотермальных и холодноводных источников Тувы. Установлено, что значения отношений изотопов гелия в геотермальных источниках превышают фоновые континентальные и свидетельствуют мантийном происхождении гелия в газах геотермальных флюидов, что подтверждает тектономагматическую природу современной активности литосферного блока Тувинско-Монгольского сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса. Дана пространственная оценка распределения изотопов гелия ($R=^3\text{He}/^4\text{He}$) в подземных водах Восточной Тувы, а с использованием отношений изотопов гелия рассчитан тепловой поток, оценены температура и глубина формирования геотермальных вод. Дана прогнозная оценка значений температур на фиксированных интервалах глубинах и на коромантийной границе.

Ключевые слова: Восточная Тува, Билин-Бусийгольский грабен, землетрясения, сейсмические события, изотопы гелия, тепловой поток, температура, литосфера, геотермальные источники, значения $R=^3\text{He}/^4\text{He}$.

The article summarizes the results of research carried out with the purpose of expert assessment of seismic hazard and seismic risk in the Republic of Tuva, which is among the regions of Russia classified to the first group of seismic risk index of 1.8. Information is given about the feasibility of establishing geodynamic polygon at the territory of the Republic of Tuva, as well as the results of isotopic-helium relationships in geothermal fluids and cold-water springs in Tuva. It is established that the values of the relations of helium isotopes in geothermal sources exceed the background continental and indicate the origin of mantle helium in gases of geothermal fluids, which confirms the nature of modern tectono-magmatic activity of the lithospheric block of the Tuva-Mongolian segment of the Central Asian fold belt. Spatial estimation of the distribution of helium isotopes ($R=^3\text{He}/^4\text{He}$) is given in the groundwater of Eastern Tuva, and using relations of the isotopes of helium calculated heat flux, estimated temperature and depth of geothermal formation waters. The prognostic evaluation of the temperature values given at fixed intervals of depths and at coromantees the border.

Key words: Eastern Tuva, Bilin-Boussingaultite Graben, earthquakes, seismic events, helium isotopes, heat flow, temperature, lithosphere, geothermal sources, the values of $R=^3\text{He}/^4\text{He}$.

В Туве, территория которой составляет 168,6 тыс. кв. км или 11% от площади АССАО, зарегистрировано 26% сильных землетрясений от общего числа подобных сейсмических событий на Юге Сибири. Это свидетельствует о том, что уровень сейсмической активности в Туве значительно превышает аналогичный параметр, фиксируемый в целом по региону. Следует отметить отчётливое проявление корреляции высокосейсмичных зон с активизированными в новейшее время участками глубинных долгоживущих разломов сдвигового типа. Это наиболее характерно для узлов сопряжения: Цаган-Шибэту-Хархириной сдвиговой зоны с Южно-Таннуольским и Хан-Хухэйским; Билин-Бусийнгольского рифта и Шишидгольской системы сдвиговых разрывных нарушений; Агардагско-Окинской и Каа-Хемской зон глубинных разломов. Эпицентрами землетрясений фиксируется сопряжение активизированных ветвей Агардагской и Хан-Хухэйской зон разломов. Ряд субширотных зон разломов глубинного заложения (Азасский, Каа-Хемский, Хемчикский, Шуйский) трассируются одиночными эпицентрами либо их локальной совокупностью, тяготеющей преимущественно к узлам пересечения и сопряжения новейших сбросо-сдвигов (рис. 1). В то же время, часть крупных разломов в сейсмическом отношении себя не проявляют (Восточно-Тувинский, Унгешский, Байсютский, Убсунур-Баянкольский). Еще меньшая зависимость интенсивности сейсмических событий выявляется при сопоставлении фиксируемых значений в эпицентрах землетрясений, пространственно совпадающих с локальными разрывными структурами низкого порядка.

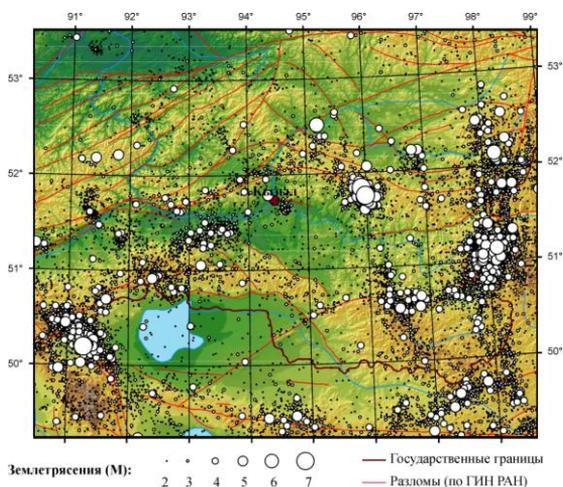


Рис. 1. Распределение эпицентров землетрясений на территории Тувы (1963-2015 гг.)

На территории Тувы наблюдаются отдельные скопления эпицентров землетрясений, которые не увязываются с элементами разрывной тектоники. По-видимому, это обусловлено несовершенством методологии картирования дизъюнктивных нарушений, сложностью оценки их пространственно-временных связей с системами глубинных разломов и их тектонической активностью, наличием скрытых разломов или только зарождающихся на больших глубинах. В результате изучения мезо-кайнозойских тектономагматических событий сделано предположение о продолжающейся мантийно-коревой активизации в регионе, и, как следствие, высокой вероятности возобновления вулканических извержений на Восточно-Тувинском лавовом нагорье [1,2]. В современной внутриплитной геодинамической ситуации происходит процесс отжимания материала астеносферной линзы из центральной зоны Южно-Байкальской вулканической области на ее западный фланг – Восточно-Тувинское лавовое нагорье. Этот процесс может спровоцировать новейшую тектономагматическую и сейсмическую активизацию на указанной территории. Возможно, еще только зарождающимися разломами объясняются сгущения

эпицентров и отдельные землетрясения на Восточно-Тувинском лавовом нагорье, не связанные с выявленными элементами разрывной тектоники.

На территории Тувы за период инструментальных сейсмологических наблюдений (1963-2016 гг.) зарегистрировано более 135 сильных землетрясений энергетического класса $K \geq 11$.

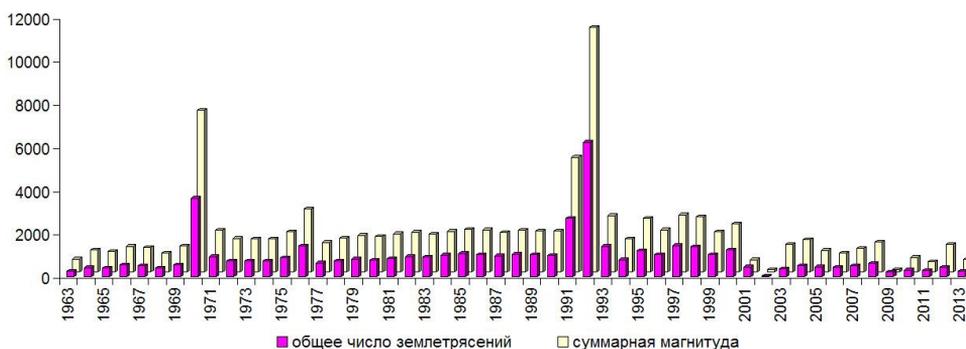


Рис. 2. Динамика числа землетрясений и суммарного значения магнитуд (1963-2013 гг.)

Как видно из графика, изменение частоты и магнитуды землетрясений носит волнообразный характер. Наибольшее количество землетрясений и их суммарная магнитуда зафиксированы в 1970 г. и 1991-1992 гг. Периодичность крупных землетрясений оценивается в 20 лет и совпадает с возросшей сейсмической активностью на территории Тувы в 2011-2012 годах. Предполагается что «...разные районы сейсмоактивных зон различаются между собой только частотой возникновения землетрясений, но не предельной их величиной» [3]. Подтверждением этому являются Спитакское и Нефтегорское землетрясения, которые по силе значительно превосходили установленные для этих районов максимальные значения сейсмичности. В последние 10 лет в западной, ранее относительно слабоактивной части АССАО, произошли землетрясения, по силе превышающие предельные значения. В Центральной Туве вдоль хребтов Уюкского и академика Обручева, где наблюдаются небольшие сгущения эпицентральных слабоактивных зон ($A_{10} \approx 0,02-0,05$) произошли два сильных землетрясения энергетического класса 14.

Крупные землетрясения 2011-2012 гг. на территории Тувы. 27 декабря 2011 г. на территории Республики Тыва в районе хребта Академика Обручева произошло землетрясение с $M(S)=6.6$. Протяженность хребта составляет около 250 км, наивысшая точка – 2895 м над уровнем моря, состоит из нескольких горных цепей меньшего масштабного уровня, сложенных главным образом гранитами, кристаллическими сланцами и песчаниками. Эпицентр находился в районе хребта Час-Тайга, вдоль которого протянулся Каа-Хемский разлом. Землетрясение сопровождалось большим числом афтершоков [3]. 26 февраля 2012 г. на южном окончании афтершоковой области, сформировавшейся после декабрьского землетрясения, произошло новое сильное землетрясение с $M(S)=6.7$, изменившее как энергетические, так и пространственные характеристики общего афтершокового процесса для данной пары крупнейших землетрясений.

За почти полувековой период инструментальных сейсмологических наблюдений на территории Тувы произошло только одно (Бусингольское – 27.12.1991 г.) землетрясение со сравнимой энергией ($M(S)=6.5$), вызвавшее пульсирующую сейсмическую активизацию, продолжающуюся до настоящего времени [3]. Параметры наиболее сильных афтершоков 2011 г. представлены в каталоге землетрясений Алтае-Саянского региона. Временная сеть из шести сейсмических станций, уставленных с радиусом в несколько десятков километров от эпицентра, была развернута в эпицентральной зоне на период с 9 февраля по 12 марта 2012 года. За это

время было зарегистрировано более 10 тыс. повторных толчков. На рис. 3 представлено размещение афтершоков Тувинских землетрясений (27 декабря 2011 г. и 26 февраля 2012 г.).

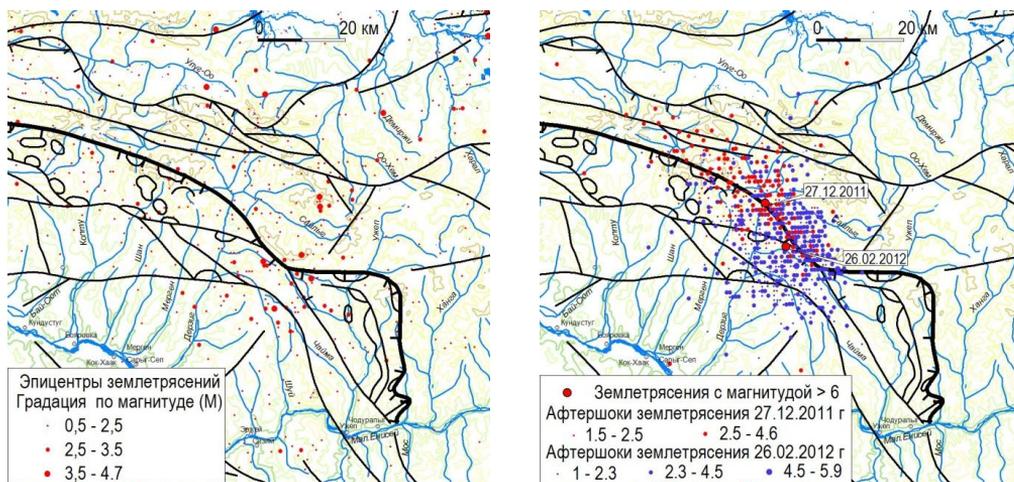


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений за период инструментальных наблюдений 1963-2011 гг. (слева); карта эпицентров афтершоков I, II Тувинских землетрясений (справа)

Механизм главного события – правосторонний сдвиг с подвижкой по субмеридиональной плоскости. Пространственно часть афтершоков выстраивается в линию субмеридионального простирания вдоль Каа-Хемского разлома. Севернее эпицентра главного толчка расположена долина, в которую стекаются реки с разных сторон. Вероятно, это узел пересечения Каа-Хемского глубинного разлома с целой серией разно ориентированных разрывных нарушений более мелкого иерархического уровня. В этой зоне наблюдается распределение сейсмичности по линиям вкрест основной активизации. Развитие афтершокового процесса в северном направлении пространственно ограничено и менее выражено, по сравнению с южным направлением. С юга афтершоковая область вытянута от эпицентра главного землетрясения вдоль Каа-Хемского разлома. Фокальные механизмы определены для семи афтершоков с ML.5.2. Наиболее близкие к эпицентру главного события сильные афтершоки характеризуются сдвиговыми перемещениями по разлому, а на южном окончании афтершоковой зоны в очагах сильных событий доминирует вертикальная составляющая сдвига, тип движения – взброс. Подобный механизм имеет и Тувинское-II землетрясение, которое приурочено к южному флангу области афтершокового процесса Тувинского-I землетрясения и к северному окончанию хребта Ыдык.

Важно отметить, что механизм очага февральского землетрясения описывается взбросом. После этого землетрясения происходят кардинальные изменения в пространственной структуре афтершокового процесса. Сравнивая на карте эпицентров афтершоков (Рис. 3) можно заметить, что, наряду с распространением афтершокового процесса в южном направлении, наблюдается еще и появление области активизации с западной стороны. Она представляет собой сублинейную зону, под острым углом примыкающую к основной линейной зоне афтершокового процесса. Между эпицентрами двух Тувинских землетрясений отчетливо прослеживается активизированный интервал Каа-Хемской зоны разломов. Южнее эпицентра февральского землетрясения наблюдается разветвление афтершокового процесса. Скопления событий приурочены к выраженным в рельефе тектоническим нарушениям. Зона максимальной плотности эпицентров землетрясений распадается в южном направлении на две практически параллельные области. После Тувинского-I землетрясения 2011 г. активизировалась узкая зона Каа-Хемского разлома с ограничивающими процесс с севера поперечными разломами, а после Тувинского-II

землетрясения 2012 г. наиболее сильно активизировались грани клинообразного окончания хребта Ыдык. После первого события суточная суммарная энергия понижалась ступенчато. Выделяется три ступени в понижении энергии афтершокового процесса. Второе событие вызвало усиление афтершокового процесса и медленное понижение его энергетического уровня со временем.

Для Тувинских землетрясений выполнены макросейсмические обследования. Энергия землетрясений сопоставима и изосейсты имеют близкую конфигурацию. Интенсивность сотрясений, вызванная вторым событием, чуть больше, чем первым. Изосейсты представляют из себя эллипсы с вытянутой осью по направлению с юга-востока на северо-запад. Для макросейсмических построений информация была получена различным образом. Для декабрьского землетрясения 2011 г. основным источником для построений явились макросейсмические данные, собранные в эпицентральной области отрядом Алтае-Саянского филиала ГС СО РАН, выполнявшим осмотр строений в поселках и опрос населения. Для февральского события 2012 г. сбор информации осуществлялся совместно с ГС СО РАН через опросные листы с использованием возможностей Интернета, а также через региональное подразделение МЧС (г. Красноярск). По результатам предварительных исследований афтершоков Тувинских землетрясений 2011–2012 гг. сделаны следующие выводы:

- 1) Ведущую роль в создании критического напряженного состояния в эпицентральной зоне Тувинских землетрясений 2011-2012 гг. сыграл процесс медленного выдавливания клинообразного хребта Ыдык к северу.
- 2) Тувинское-I землетрясение 27.12.2011 г., обусловленное правосторонним сдвигом вдоль Каа-Хемского разлома, сформировало афтершоковую область, преимущественно распространившуюся к югу до северного окончания хребта Ыдык и ограниченную с севера зоной изменения простираения Каа-Хемского разлома почти на 90°.
- 3) Тувинское-II землетрясение 26.02.2012 г. положило начало активному процессу разрядки напряжений за счет смятия с взбросовыми подвижками движущегося на север блока вместе с зоной контакта. Наибольшее число землетрясений приурочено к разломам, являющимся границами клинообразного завершения хребта Ыдык.
- 4) Афтершоковые процессы двух крупнейших Тувинских землетрясений 2011 и 2012 гг. перекрывают друг друга в пространстве и времени, что указывает на единство тектонического процесса для них.

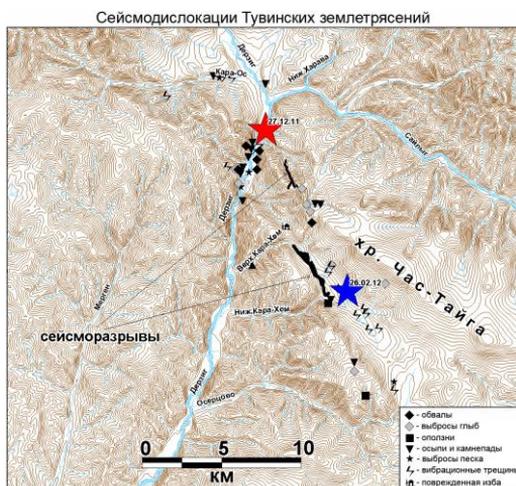


Рис. 4. Карта сейсмодислокаций землетрясений 2011-2012 гг. в зоне Каа-Хемского разлома

Очаговые зоны Тувинских землетрясений 2011-2012 гг. детально изучены специалистами ИФЗ РАН и ТувИКОПР СО РАН в 2012-2015 гг. Совместным Сейсмогеологическим отрядом под руководством А.Н. Овсяченко было выяснено, что при обоих событиях очаги вышли на поверхность в виде сейсморазрывов. Длина сейсморазрыва, вскрывшегося при землетрясении 27 декабря 2011 г., составила 1,6 км. Разрыв имеет северо-западное простирание и правосдвиговую кинематику смещений величиной 50-60 см. Длина сейсморазрыва, вскрывшегося при землетрясении 26 февраля 2012 г., составила немногим менее 4 км. Разрыв имеет взбросо-сдвиговую кинематику и вытянут в север-северо-западном направлении. Оба разрыва секут все формы рельефа на своём пути и демонстрируют чёткие структурные рисунки, свойственные исключительно тектоническим деформациям. Они приурочены к разнообразным более древним морфоструктурам (валам-поднятиям, крутым бортам седловин-грабенов, спрямленным долинам водотоков и др.), разделяя участки с резко различными геоморфологическими условиями. В результате этих исследований было установлено точное местоположение очагов зимних землетрясений, определены их пространственные характеристики и место в геологической структуре региона. Для изучения сейсмической истории этих очагов были предприняты палеосейсмогеологические исследования, включившие проходку горных выработок (канав и шурфов) вкост простирания сейсморазрывов 2011-2012 гг. На ключевых участках было выполнено детальное геолого-геоморфологическое картирование в масштабе 1:2000 – 1:10000. Изучение и абсолютное датирование радиоуглеродным методом древних сейсморазрывов позволило выяснить динамические связи между сейсмогенерирующими сегментами Каа-Хемской разломной зоны, их долговременный сейсмический режим, стадии сейсмического цикла, связи и взаимодействие Каа-Хемской зоны с другими крупными сейсмогенерирующими структурами региона (прежде всего с Белино-Бусийнгольской, Танну-Ольской и Агардакской) и ее вклад в современные тектонические процессы.

Геотермические исследования. Параметрическая оценка сейсмической и тектономагматической активности невозможна без изучения теплового поля. Тепловой поток (ТП) несет важную информацию о глубинных температурах, термодинамических условиях в литосфере, которые в значительной степени определяют ее напряженно-деформированное состояние и интенсивность тектонических и сейсмических процессов. Геотермические исследования на территории Тувы выполнялись сотрудниками Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН и Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН. В пределах значительной территории Тувы до недавнего времени было выполнено всего десять определений теплового потока. В Центральной и Западной Туве средняя величина ТП составляет в среднем 41 мВт/м² и практически совпадает с таковым для остальных районов Алтае-Саянской области. Два пункта на востоке Тувы в байкалидах показали аномально высокий тепловой поток (60 и 75 мВт/м²). Именно эти наблюдения впервые поставили задачу более детального изучения распределения теплового потока в Туве. Применение геотермического метода измерения внутриземного теплового потока на данной территории было невозможно из-за отсутствия подходящих скважин. Для оценки теплового потока был использован «гелиевый» метод, основанный на выявленной Б.Г. Поляком в 1988 году зависимости между величиной теплового потока и отношением содержаний изотопов гелия в подземных флюидах. Эта корреляционная зависимость была установлена как на континентальном, так региональном и локальном уровнях [4,5]. Установленная зависимость была использована для уточнения и изучения теплового потока в рифтовом поясе Восточного Китая, на Северном Кавказе, Байкальской рифтовой зоне, в Монголии, в Восточных Карпатах, Тянь-Шане, Италии, Японии. Корреляционная зависимость была уточнена для Байкальской рифтовой зоны и окружающих ее районов Прибайкалья, Забайкалья и Северной Монголии [6,7]. Оно имеет следующий вид: $g = 31,8 + 9,1 \ln(^3\text{He}/^4\text{He})$ с коэффициентом корреляции $r = 0,76$. По этому уравнению проведена оценка теплового потока по изотопам гелия Байкальской рифтовой зоны и окружающих районов. Из 48 изученных участков в основных геологических структурах в 21 тепловой поток определен по геотермическим наблюдениям, в 27 – рассчитан по

изотопам гелия. При определении термального состояния литосферы Монголии тепловой поток в 26 пунктах был рассчитан по изотопам гелия (Хуторской и др., 1991). Авторами было отобрано 58 проб газа и воды из 28 источников для определения изотопного соотношения гелия в геотермальных источниках Восточной Тувы для оценки теплового потока и расчета изменчивости температур с глубиной (рис.5).

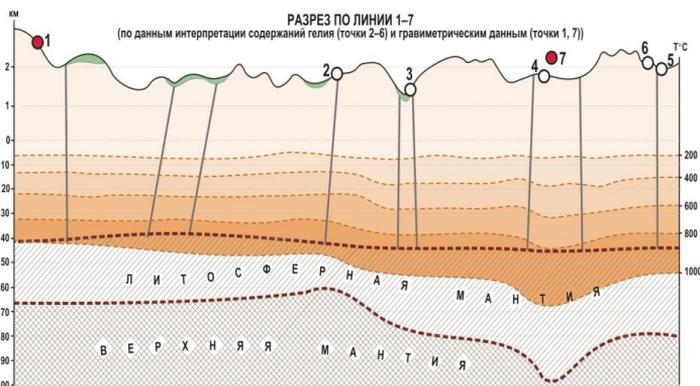
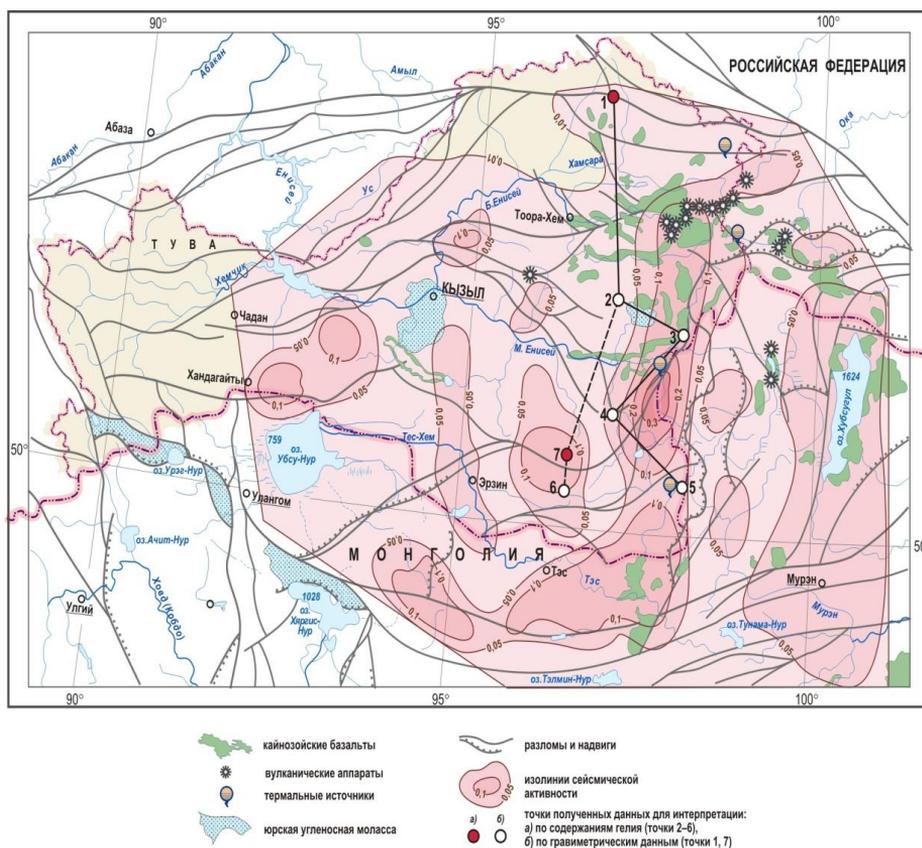


Рис. 5. Схема сейсмоактивности и геотермального режима литосферы

Газовые и водные пробы отбирались в соответствии с рекомендованной для изотопно-гелиевых исследований методикой, их отбор сопровождался измерением температуры. Анализ элементного и изотопного состава гелия и других благородных газов выполнялся И.Л. Каменским с коллегами в лаборатории «Геохронологии и геохимии изотопов» в Геологическом институте КНЦ РАН (г. Апатиты) на масс-спектрометре МИ-1201. ИГ №6-91-IV и на стеклянной ртутной установке типа Хлопина-Герлинга. В пробах определялись концентрации He, Ne, иногда Ar, а также отношения изотопов $R = {}^3\text{He}/{}^4\text{He}$, ${}^4\text{He}/{}^{20}\text{Ne}$, и ${}^{40}\text{Ar}/{}^{36}\text{Ar}$. Всего проанализировано 58 проб газа и воды из 28 источников по всей территории Тувы. Повторное опробование источников через 1-3, 5 лет показало постоянство уровня изотопно-гелиевых отношений во времени, что позволяет выявлять их региональные различия. Одновременно с опробованием на изотопы гелия отбирались пробы для определения температуры и глубины формирования гидротерм в источниках Белин-Бусыйгольского грабена как наиболее сейсмоактивной структуры.

Выводы, полученные при анализе отношений изотопов гелия (R), основываются на том, что изотоп ${}^3\text{He}$ (мантийный или первичный) был захвачен веществом Земли во время аккреции планеты, тогда как радиогенный изотоп ${}^4\text{He}$ постоянно образуется при распаде урана и тория. Гелий, содержащийся в пробах газа из газо-водяных флюидов геотермальных источников, представляет собой смесь мантийного изотопа ${}^3\text{He}$, в основном поступающего из недр планеты посредством диффузии или в результате разномасштабных конвективных процессов теплопереноса, и корового, обогащенного ${}^4\text{He}$. Очевидно, что чем выше интенсивность выноса глубинного вещества, тем больше значение R. Таким образом, значения $R = {}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ в геотермальных флюидах являются эффективными индикаторами активности теплового потока из недр литосферных блоков [4,5]. Высокий тепловой поток на поверхности Земли – это отражение теплового импульса в недрах, вызывающего тектономагматическую активизацию и, как следствие, гидротермальную деятельность. Тепловой импульс маркируется аномальными значениями изотопов гелия в геотермальных флюидах. Установлены фоновые характеристики ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ для различных тектонических структур и выявлена обратная зависимость от возраста магматической активизации. Наиболее низкое значение R соответствует древней континентальной коре. Оно составляет $\approx (2 \pm 1) \cdot 10^{-8}$ и отвечает радиогенному коровому гелию. Повышенные значения $R = 10^{-7}$, характерные для более молодых дейтерогенных структур, указывают на присутствие в их газах некоторого количества мантийного гелия. Максимальные значения $> 10^{-6} \cdot 10^{-5}$ характерны для современных рифтовых зон и районов активного вулканизма [4]. В атмосфере, в связи с постоянным поступлением гелия из недр нашей планеты, спалогенными реакциями и непрерывными потерями гелия в космос, установилось значение $R_a = 140 \cdot 10^{-8}$.

Таким образом, пробы природных газов могут содержать гелий, включающий в разных соотношениях три компоненты – коровую, мантийную и атмосферную. Для выявления проб с наличием атмосферного гелия используется соотношение ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ и ${}^4\text{He}/{}^{20}\text{Ne}$ (Каменский). Наиболее наглядно это отображается на диаграмме (рис. 6) сравнительного распределения значений в координатах $R_{\text{изм}}$ и $({}^4\text{He}/{}^{20}\text{Ne})_{\text{изм}}$ геотермальных флюидов и $R_a = 140 \cdot 10^{-8}$ $({}^4\text{He}/{}^{20}\text{Ne})_a \approx 0,3$ параметрических характеристик атмосферы. Если значения близки к атмосферным, то проба не содержит глубинного гелия. Такие пробы и результаты их анализа не могут быть использованы при определении значений теплового потока (Нокс, 2000). Как видно, в районе ромба «АТМ» группируются источники (№№ 8, 15, 17-25, 27), в которых $R_{\text{изм}}$ и $({}^4\text{He}/{}^{20}\text{Ne})_{\text{изм}}$ отвечают значениям атмосферного воздуха. Это в основном пробы холодных, преимущественно пресноводных источников Центральной и Западной Тувы. Они не содержат глубинный гелий и исключены из дальнейшего рассмотрения. Оставшиеся пробы, отобранные преимущественно из геотермальных и минерализованных источников Восточной Тувы и содержащие глубинный гелий и другие компоненты мантийного происхождения, пригодны для определения параметрических характеристик теплового потока из недр.

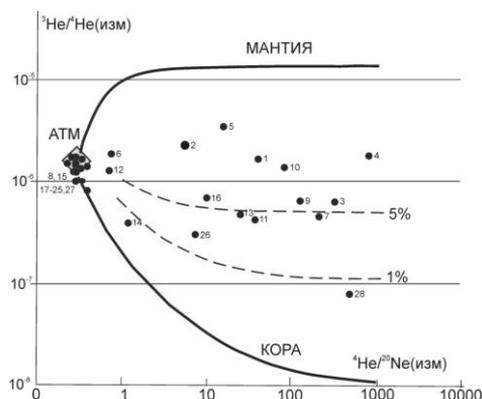


Рис. 6. Изотопные отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$ и $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ в геотермальных источниках Тувы.

Все опробованные источники востока Тувы показали значения R значительно превышающие (рис. 6) фоновые континентальные для палеозойской коры (1×10^{-8}). Самые высокие значения характерны для 6 опробованных источников, выводимых северо-восточной разломной зоной, ограничивающей Восточно-Тувинское лавовое нагорье сложенное продуктами четвертичного вулканизма. Наибольшие значения R (236×10^{-8} и 422×10^{-8}) наблюдаются в газах углекислого термоочага источника Чойган, где примесь мантийного гелия достигает (21-38%). Полученные величины превышают $R_{\text{мак}}$ по Хубсугульской впадине ($206 \cdot 10^{-8}$) и по западному флангу Тункинской впадины ($214-280 \cdot 10^{-8}$), уступая лишь субмантийным значениям R ($620-1120 \times 10^{-8}$) в ее центральной части последней [8].

При этом ареал геотермальных источников Чойган приурочен к сочленению северо-восточной разломной зоны и северной оконечности магмоконтролирующего субмеридионального Белино-Бусыйнгольского грабена – узлу максимальной деформации вулканогенно-осадочных и интрузивных образований. Высокая дисперсность R , наблюдаемая в геотермальных и минерализованных источниках ареала, находится в согласии с универсальной особенностью континентальных рифтовых зон [5], а максимальная величина $^3\text{He}/^4\text{He}$ источника Чойган свидетельствует о продолжении и резком усилении мантийного сигнала к северо-западу от Тункинского грабена, вдоль по простиранию северо-восточной разломной зоны. В четырех опробованных источниках, расположенных южнее Белино-Бусыйнгольского грабена, четко фиксируется убывание содержаний изотопов гелия с севера ($122 \cdot 10^{-8}$) к югу ($36 \cdot 10^{-8}$). Доля мантийного гелия в них уменьшается от 11,0 до 3,1%. Такое понижение мантийного гелия свидетельствует о закрытии зоны современной разгрузки тепломассопотока или выклинивании ее в южном направлении. Разломная система Белино-Бусыйнгольского грабена, являясь наиболее сейсмически активной, в центральной и южной части практически амагматична.

Таким образом, на крайнем юго-востоке Алтае-Саянской складчатой области, в зоне Байкальского рифта, оконтурена обширная изотопно-гелиевая аномалия, выявленная в результате опробования геотермальных сероводородно-кремнекислых источников, в минерализованных водах которых определены повышенные концентрации мантийного гелия. Аномальный ореол охватывает гораздо большую территорию, чем это было показано ранее на основании данных о распространении продуктов новейшего вулканизма. По сути, аномальный ореол является продолжением изотопно-гелиевой аномалии Байкальской рифтовой зоны, свидетельствуя о резком усилении мантийного сигнала на западном фланге Южно-Байкальской вулканической области и наложении мезо-кайнозойских тектономагматических процессов на протерозойские и палеозойские структуры Восточной Тувы. На крайнем юго-востоке Тувы относительно низкие ($3,9-4,8\%$)

концентрации мантийного гелия в термальных источниках Белин-Бусийнгольского рифтогенного грабена, могут служить косвенным доказательством начальной стадии раскрытия рифта, а тектоническая и геотермальная активизация западного фланга Байкальской рифтовой зоны не ограничивается трансформной структурой Белин-Бусийнгольского грабена и продолжается на запад. Выявленная нами изотопно-гелиевая аномалия соответствует проекции горячей точки мантии в Южно-Байкальской вулканической области, выделенной ранее по проявлениям кайнозойского вулканизма [9, 10].

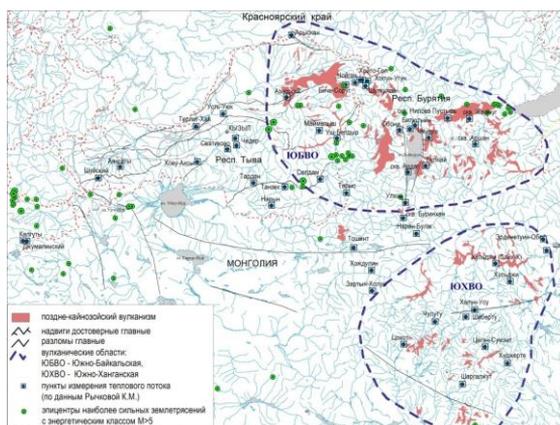


Рис. 7. Схема пунктов измерений теплового потока

По изотопам гелия (11 источников) были рассчитаны значения теплового потока (q_R) по каждому источнику (рис. 7). Сравнение значений теплового потока по измерениям в скважинах (q_T) на крайнем северо-востоке (рудное поле Ак-Суг) и юго-востоке Тувы (рудное поле Улуг-Танзек) с рассчитанными по величине изотопов гелия (68 мВт/м^2), показали практическую идентичность прямых измерений и результатов гелиевого метода для Восточной Тувы [8]. Это указывает на то, что высокий тепловой поток и аномальные значения изотопов гелия на востоке Тувы производные одного процесса – тепломассопотока из мантии, провозирующего в верхах литосферы активную гидротермальную циркуляцию и привнос тепла из мантии. Максимальные значения присуци северо-востоку Тувы, где q_R изменяется от 69 до 85 мВт/м^2 . На юго-востоке Тувы q_R варьирует от 60 до 68 мВт/м^2 . Вдоль простирания Билин-Бусийнгольской впадины с севера на юг от Чойганских до Тарысских геотермальных источников тепловой поток уменьшается с 84 до 66 мВт/м^2 (в среднем – 71 мВт/м^2), что сопоставимо с региональным тепловым потоком Байкальской рифтовой зоны ($72 \pm 21 \text{ мВт/м}^2$). По сути, он совпадает с тепловым потоком Хубсугульской впадины, ниже средних значений по Тункинской впадине и превышает средние значения остальных впадин Байкальской рифтовой зоны. Высокий тепловой поток подтверждается данными сейсмотомографии [11].

По значениям q_R были рассчитаны температура и глубина формирования азотной гидротермальной линии Билин-Бусийнгольского грабена по четырем источникам (рис. 5). Полученные данные хорошо согласуются с расчетами Голубева [12], который использовал средний термический градиент Байкальского рифта, определенный геотермическим методом. Это свидетельствует о надежности исходных значений теплового потока, рассчитанных по соотношению изотопов гелия и о достоверности полученных данных.

Таким образом, значения теплового потока, определенного по изотопам гелия и содержанию двуокиси кремния как наиболее надежных геотермометров, позволили подтвердить рассчитанные ранее Голубевым параметры термальных источников, и в свою очередь, оценить неизвестные глубинные параметры минерализованного сероводородного источника Нарын.

Используя тепловой поток, рассчитанный по изотопам гелия, были оценены глубинные температуры. Под Билин-Бусийнгольской впадиной глубинные температуры выше температур впадин Байкальской рифтовой зоны, а под хребтами (Восточный Саян и отроги хр. акад. Обручева) в два раза и более превышают значения в недрах горных хребтов Байкальской рифтовой зоны. Это свидетельствует о значительном, более высоком прогреве земной коры на востоке Тувы по сравнению с Байкальской рифтовой зоной, что подтверждает предположение о «процессе отжимания материала астеносферной линзы на ее фланги» [9]. Мощность термической литосферы под Билин-Бусийнгольской впадиной составила в среднем 74 км, под горными хребтами – 68 км. Средняя мощность литосферы не превышает 70 км, что коррелирует с ранее полученными данными [13]. Температура на нижней границе земной коры находится в пределах 980°C – 1210°C , в подошве литосферы – 1263 – 1280°C (рис. 3). Иное соотношение геотермических и изотопно-гелиевых оценок теплового потока наблюдается в Западной Туве. По геотермическим данным тепловой поток изменяется от 33 до 50 мВт/м^2 , в среднем составляя 41 мВт/м^2 . По изотопно-гелиевым характеристикам трех источников: Сватиково, Шуйский и Джумалинский q_T составляет в среднем 58 мВт/м^2 . По всем оценкам средний тепловой поток Западной Тувы составляет 47 мВт/м^2 , что свидетельствует о более холодной литосфере, при чем температуры в низах земной коры не превышают 500 – 600°C , а мощность литосферы увеличивается до 150–180 и более км.

Таким образом, территория Тувы по уровню теплового потока подразделяется на две части: восточную, характеризующуюся аномально высоким тепловым потоком, достигающим 80 мВт/м^2 вблизи Восточно-Тувинского лавового нагорья, и западную с q_T порядка 45 – 50 мВт/м^2 (рис. 5).

Высокая сейсмичность, наличие мантийного гелия в геотермальных источниках и высокий тепловой поток на востоке Тувы свидетельствуют об активности новейших геодинамических процессов, которые обусловлены положением региона в узле сочленения и взаимодействия Сибирской, Амурской и Монгольской литосферных плит.

К сожалению, уровень сейсмической изученности территории Тувы и сопредельных регионов остается низким. При этом, методика прогноза среднесрочных катастрофических землетрясений, разработанная учеными Международного института теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, позволила предсказать сильнейшие землетрясения: Спитакское (1988 г.) и Южно-Курильское (1994 г.). Использование этой методики в Туве сдерживается из-за отсутствия системных наблюдений сейсмических событий надлежащей точности.

В целом за “инструментальный” период изучения сейсмической активности в Туве, как было сказано выше, было зарегистрировано более 130 сильных землетрясений энергетического класса $K > 11$. В последние годы сейсмическая активность в горных районах возрастает как по частоте землетрясений, так и по энергетическому классу.

Новые данные об эволюции вулканизма Восточно-Тувинского лавового нагорья, входящего в состав кайнозойской Южно-Байкальской вулканической области, позволяют оценить регион как сейсмически и геотермально активный, вулканически опасный, с высокой вероятностью катастрофических землетрясений и новых излияний лав [1,2, 10,14,15, 3].

В зоне возможных землетрясений интенсивностью до 7 баллов по шкале Рихтера расположены: Каа-Хемский, Кызылский, Тандинский, Тес-Хемский, Тоджинский, Чеди-Хольский кожууны и г. Кызыл, общей площадью $87,3$ тыс. км^2 , с численностью населения более 170 тысяч человек. Землетрясения интенсивностью до 8 баллов возможны в Бай-Тайгинском, Барун-Хемчикском, Дзун-Хемчикском, Кызылском, Овюрском, Пий-Хемском, Сут-Хольском, Тес-Хемском, Улуг-Хемском, Чаа-Хольском, Чеди-Хольском и Эрзинском кожуунах на общей площади $66,1$ тыс. км^2 с численностью населения более 150 тысяч человек. Землетрясения интенсивностью до 10 баллов высоко вероятны в Монгун-Тайгинском, Овюрском, Каахемском и Терехольском кожуунах

на площади 17,1 тыс. км² с численностью населения более 37 тысяч человек. Эпицентры крупных сейсмических события в последние годы зарегистрированы (рис. 1) в районе с. Ю. Торгалык (в 1972 г.), оз. Урэг-Нур (2003 г.), в бассейнах рек Бусийн-Гол (2009 г.) и Дерзиг (2011-2012), что подтверждает высокую вероятность возникновения катастрофических землетрясений на территории Тувы. Именно поэтому необходима интенсификация геодинамических и изотопно-геохимических исследований сейсмоопасных зон Тувы, а также осуществление в полном объеме инженерно-сейсмологического мониторинга состояния зданий и сооружений населенных пунктов Республики Тыва с помощью специализированных методов и аппаратного обеспечения. Конечная цель мониторинга – прогноз вероятных естественных и наведенных катастрофических событий, включая землетрясения, оползни, горные удары и т.п., а также предупреждение возможных негативных последствий чрезвычайных ситуаций, вызванных антропогенными нагрузками на природную среду.

Комплексирование деформационных наблюдений и наблюдений за изменением напряженного состояния земной коры с использованием тектоно-магнитного мониторинга позволит определить характер развития геодинамического процесса и процессов подготовки сейсмического события в контурах полигона.

С 2009 года в ТувИКОПР СО РАН для изучения динамики неотектонических процессов с целью оценки сейсмической обстановки в регионе функционирует Центр мониторинга эндогенных источников чрезвычайных ситуаций ЦМЭИ ЧС при ТувИКОПР СО РАН. В Центре созданы необходимые условия для фиксирования в режиме "on-lain" и оперативной обработки сейсмических данных, передаваемых автономными сейсмостанциями: «КЫЗЫЛ», «ЧАДАН», «ТУРАН», «ЭРЖЕЙ», «САМАГАЛТАЙ». Сейсмостанции «ТУРАН» и «САМАГАЛТАЙ» работают с техническими перебоями в сети передачи данных в обрабатывающий центр. В ЦМЭИ ЧС оборудованы рабочие места операторов-сейсмологов, установлен настенный экран коллективного пользования – ЖК панель диагональю 40 дм, в изолированном помещении – сервер подключения портов к коммутатору ЛВС. Кабельная оптико-волоконная сеть рассчитана на суммарную потребляемую мощность оборудования в 10 кВт. Кроме сейсмостанций ТувИКОПР СО РАН в Туве действуют в автономном режиме 3 станции Геофизической службы СО РАН и 2 – КНИИГиМС. Все стационарные сейсмостанции Института оснащены цифровыми регистраторами УГРА-2, промышленными компьютерами – для накопления и обработки информации, терминалами спутниковой связи. Центр мониторинга эндогенных источников чрезвычайных событий (ЦМЭИ ЧС) осуществляет: 1) контроль сейсмической обстановки на территории Республики Тыва и сопредельных регионов; 2) оповещение и обмен сейсмической информацией с заинтересованными ведомствами; 3) оперативный сбор и хранение сейсмических данных со станций; 4) обработку и интерпретацию сейсмических данных; 5) использование сейсмической информации как в оперативном режиме, так и в режиме подготовки каталога.

Сетью сейсмического мониторинга ТувИКОПР СО РАН, при научно-методическом сопровождении ГС СО РАН, отслеживается режим сейсмичности территории, обрабатывается каталог землетрясений, выполнены работы по микросейсмическому районированию г. Кызыла, продолжают сейсмогеологические и палеосейсмогеологические исследования в пределах эпицентральных зон землетрясений 2011-2012 гг. в Туве.

Сейсмогеологические и геотермические исследования выполнены при финансовой поддержке:

РФФИ – гранты 99-05-65645-а, 01-05-64260-а, 02-05-39019-а, 04-05-64093-а, 05-05-79123-а; 05-05-97225р-байкал-а 07-05-00601-а, 07-05-90100_Монг_а, 08-05-10031-к, 09-05-10048-к, 10-05-00444-а, 11-05-10018-к, 12-05-10007-к; 13-05-10002-к; 14-05-10026-к; 15-05-10101-к; интеграционных проектов СО РАН №№ 6.3, 87.

МЧС РФ – Государственный контракт №7//3.4.2.1.-0314 от 14.04.2009 г. «Разработка и реализация пилотного проекта по оценке состояния и повышению защищенности критически важных объектов субъекта Российской Федерации от угроз сейсмического характера на примере



Республики Тыва» в рамках реализации ФЦП «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в РФ до 2010 года».

Библиографический список

1. Лебедев В.И., Черезов А.М., Кужугет К.С., Лебедева М.Ф., Лебедева С.В., Черезова О.С., Чупкиова С.А. Геологические формации, глубинная геодинамика и сейсмичность террейнов Внутренней Азии (Тува и Северо-Западная Монголия) // Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2001. – С. 34–45.
2. Лебедев В.И., Ярмолук В.В., Сугоракова А.М. 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. – Кызыл, ТувИКОПР СО РАН, 2001. – С. 46–52.
3. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Колесников Ю.И. Геодинамические и техногенные процессы в сейсмичности Алтае-Саянской горной области // Современная геодинамика массива горных пород верхней части литосферы: истоки, параметры, воздействие на объекты недропользования / под ред. М.Д.Новопашина; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т Горного дела [и др.]. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – С.176–267.
4. Поляк Б.Г. Тепломассопоток из мантии в главных структурах земной коры. – М.: Наука, 1988. – С 161–166.
5. Поляк Б.Г. Изотопы гелия в подземных флюидах Байкальского рифта и его обрамления (к геодинамике континентального рифтогенеза) // Российский журнал наук о Земле. – Т 2. – №2. – 2000. – С. 1–21.
6. Лысак С.В., Писарский Б.И. Оценка теплового потока по изотопам гелия в газовом составе подземных вод Байкальской рифтовой зоны и окружающих районов // Вулканология и сейсмология. – № 3. – 1999. – С. 45–53.
7. Лысак С.В., Дорофеева Р.П. Термальное состояние литосферы в Монголии // Геология и геофизика. – Т. 44. – № 9. – 2003. – С. 929–941.
8. Рычкова К.М., Лебедев В.И., Чупкиова С.А. Сейсмичность Тувы и проблемы прогноза землетрясений //Состояние и освоение природных ресурсов Тувы и сопредельных регионов Центральной Азии. Геоэкология природной среды и общества. – Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2002. – С. 62–67.
9. Ярмолук В.В., Лебедев В.И., Сугоракова А.М. Восточно-Тувинский ареал новейшего вулканизма Центральной Азии: этапы, продукты и характер вулканической активности // Вулканология и сейсмология. – №3. – 2001. – С. 3–32
10. Сугоракова А.М., Ярмолук В.В., Лебедев В.И. Кайнозойский вулканизм Тувы. – Кызыл, ТувИКОПР СО РАН, 2003. – С. 6–90.
11. Кулаков И.Ю. Трехмерные сейсмические неоднородности под Байкальским регионом по данным локальной и телесеismicкой томографии // Геология и геофизика. – Т.40. – №3. – 1999.
12. Голубев В.А. Тепловые и химические характеристики гидротермальных систем Байкальской рифтовой зоны // Советская геология. – №10. – 1982. – С.102.
13. Дучков А.Д., Лысак С.В., Голубев В.А. Тепловой поток и геотемпературное поле Байкальского региона // Геология и геофизика. – Т 40. – №3. – 1999. – С. 287–303.
14. Дучков А.Д., Лебедев В.И., Соколова Л.С. Новые данные о тепловом потоке Западной Сибири // Геология и геофизика. – № 1. – 1989. – С. 140–144.
15. Дучков А.Д., Рычкова К.М., Лебедев В.И. Оценки теплового потока Тувы по данным об изотопах гелия в термоминеральных источниках // Геология и геофизика. – Т.51. – № 2. – 2010. – С. 264–276.

Библиографический список

1. Lebedev V.I., Cherezov A.M., Kuzhuget K.S., Lebedeva M.F., Lebedeva S.V., Cherezova O.S., Chupikova S.A. Geologicheskie formacii, glubinnaja geodinamika i sejsmichnost' terrejnov Vnutrennej Azii (Tuva i Severo-Zapadnaja Mongolija) // Sostojanie i osvoenie prirodnyh resursov Tuvy i sopredel'nyh regionov Central'noj Azii. Geojekologija prirodnoj sredy i obshhestva. – Kyzyl: TuvIKOPR SO RAN, 2001. – S. 34–45.
2. Lebedev V.I., Jarmoljuk V.V., Sugorakova A.M. Novejsijij vulkanizim i verojatnost' tektonomagmaticheskoj aktivizacii sejsmoopasnyh zon na territorii Tuvy // Sostojanie i osvoenie prirodnyh resursov Tuvy i sopredel'nyh regionov Central'noj Azii. Geojekologija prirodnoj sredy i obshhestva. – Kyzyl, TuvIKOPR SO RAN, 2001. – S. 46–52.
3. Emanov A.F., Emanov A.A., Leskova E.V., Kolesnikov Ju.I. Geodinamicheskie i tehnogennye processy v sejsmichnosti Altae-Sajanskoy gornoj oblasti // Sovremennaja geodinamika massiva gornyh porod verhnjej chasti litosfery: istoki, parametry, vozdejstvie na ob#ekty nedropol'zovanija / pod red. M.D.Novopashina; Ros. akad. nauk, Sib. otd-nie, In-t Gornogo dela [i dr.]. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2008. – S.176–267.
4. Poljak B.G. Teplomassopotok iz mantii v glavnyh strukturah zemnoj kory. – M.: Nauka, 1988. – S 161–166.
5. Poljak B.G. Izotopy geliya v podzemnyh fljuidah Bajkal'skogo rifta i ego obramlenija (k geodinamike kontinental'nogo riftogeneza) // Rossijskij zhurnal nauk o Zemle. – T 2. – №2. – 2000. – S. 1–21.
6. Lysak S.V., Pisarskij B.I. Ocenka teplovogo potoka po izotopam geliya v gazovom sostave podzemnyh vod Bajkal'skoy riftovoj zony i okružhajushih rajonov // Vulkanologija i sejsmologija. – № 3. – 1999. – S. 45–53.
7. Lysak S.V., Dorofeeva R.P. Termal'noe sostojanie litosfery v Mongolii // Geologija i geofizika. – T. 44. – № 9. – 2003. – S. 929–941.

8. Rychkova K.M., Lebedev V.I., Chupikova S.A. Sejsmichnost' Tuvy i problemy prognoza zemletrjasenij //Sostojanie i osvoenie prirodnyh resursov Tuvy i sopredel'nyh regionov Central'noj Azii. Geojekologija prirodnoj sredy i obshhestva. – Kyzyl: TuvIKOPR SO RAN, 2002. – S. 62-67.
9. Jarmoljuk V.V., Lebedev V.I., Sugorakova A.M. Vostochno-Tuvinskij areal novejshego vulkanizma Central'noj Azii: jetapy, produkty i harakter vulkanicheskoj aktivnosti // Vulkanologija i sejsmologija. – №3. – 2001. – S. 3-32
10. Sugorakova A.M., Jarmoljuk V.V., Lebedev V.I. Kajnozojskij vulkanizm Tuvy. – Kyzyl, TuvIKOPR SO RAN, 2003. – S. 6-90.
11. Kulakov I.Ju. Trehmerye sejsmicheskie neodnorodnosti pod Bajkal'skim regionom po dannym lokal'noj i telesejsmicheskoj tomografii // Geologija i geofizika. – T.40. – №3. – 1999.
12. Golubev V.A.. Teplovyje i himicheskie harakteristiki gidrotermal'nyh sistem Bajkal'skoj riftovoj zony // Sovetskaja geologija. – №10. – 1982. – S.102.
13. Duchkov A.D., Lysak S.V., Golubev V.A. Teplovoj potok i geotemperaturnoe pole Bajkal'skogo regiona // Geologija i geofizika. – T 40. – №3. – 1999. – S. 287-303.
14. Duchkov A.D., Lebedev V.I., Sokolova L.S. Novye dannye o teplovom potoke Zapadnoj Sibiri // Geologija i geofizika. – № 1. – 1989. – S. 140-144.
15. Duchkov A.D., Rychkova K.M., Lebedev V.I. Ocenki teplovogo potoka Tuvy po dannym ob izotopah gelija v termomineral'nyh istochnikah // Geologija i geofizika. – T.51. – № 2. – 2010. – S. 264-276.

Лебедев Владимир Ильич – доктор геолого-минералогических наук, научный руководитель Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук (ТувИКОПР СО РАН), профессор кафедры географии и туризма, ФГБОУ ВПО Тувинского государственного университета (ТувГУ), E-mail: vil@tikopr.sbras.ru.

Lebedev Vladimir - doctor of geological and mineralogical Sciences, scientific head of the Federal state budgetary institution of science of the Tuvan Institute for Exploration of Natural Resources of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (TuvIENR SB RAS), Professor of the Department of geography and tourism of FSBEI HPE Tuvan state University (TuvSU), E-mail: vil@tikopr.sbras.ru

Дучков Альберт Дмитриевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. E-mail: DuchkovAD@ipgg.sbras.ru

Duchcov Albert – doctor of geological-mineralogical Sciences, Professor, chief researcher of Federal state budgetary institution of science Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, E-mail: DuchkovAD@ipgg.sbras.ru

Каменский Игорь Леонидович – кандидат химических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института Кольского научного центра РАН. E-mail: iglkam@mail.ru.

Kamensky Igor – candidate of chemical Sciences, senior researcher of the Federal state budget institution of science Geological Institute of the Kol'skogo scientific centre of the RAS.

Рычкова Клара Монгушевна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук (ТувИКОПР СО РАН), E-mail: klara6@inbox.ru.

Rychkova Klara - candidate of geological and mineralogical sciences, senior researcher of the Federal state budgetary institution of science of the Tuvan Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS (TuvIENR SB RAS), E-mail: klara6@inbox.ru

Чупикова Светлана Алексеевна – кандидат географических наук, заведующий лабораторией математического моделирования Федерального государственного бюджетного учреждения науки Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук (ТувИКОПР СО РАН), старший преподаватель кафедры географии и туризма, ФГБОУ ВПО Тувинского государственного университета (ТувГУ), E-mail: s_fom@inbox.ru.



Chupikova Svetlana - candidate of geographical Sciences, head of laboratory of mathematical modeling of the Federal state budgetary institution of science of the Tuvan Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS (TuvIENR SB RAS), senior lecturer of the Department of geography and tourism of FSBEI HPE Tuvan State University (TuvSU), E-mail: s_fom@inbox.ru

УДК 550.34

**РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТУВИНСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
2011-2012 гг.**

*Овсюченко А.Н.¹, Рогожин Е.А.¹, Мараханов А.В.¹, Ларьков А.С.¹, Новиков С.С.¹, Бутанаев Ю.В.²,
Кужугет К.С.²*

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН¹

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН²

**THE RESULTS OF SEISMOLOGICAL RESEARCHES OF TUVAN EARTHQUAKES
2011-2012**

*Ovsyuchenko A.N.¹, Rogozhin E.A.¹, Marakhanov A.V.¹, Lar'kov A.S.¹, Novikov S.S.¹,
Butanaev Yu.V.², Kuzhuget K.S.²*

The Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS¹

Tuvan Institute for Exploration of Natural Resources of the Siberian Branch of the RAS²

Приведены результаты сейсмогеологических исследований Тувинских землетрясений 2011-2012 гг. ставших сильнейшими за всю историю сейсмологических наблюдений в Туве. Землетрясения произошли в зоне Каа-Хемского глубинного разлома, представляющего собой одну из крупнейших сейсмогенерирующих структур Алтае-Саянского сейсмоактивного региона. Следы землетрясений чётко делятся на две группы: вторичные, представляющие собой результат сейсмических сотрясений, и первичные, непосредственно отражающие выход очага землетрясения на поверхность в виде сейсморазрыва. Отличительная черта сейсморазрывов обоих землетрясений – небольшая длина относительно магнитуды событий. Собранные данные о распределении вторичных эффектов землетрясений позволили в общих чертах наметить участки 8-ми и 9-ти балльных сотрясений, представляющие собой суммарный эффект от двух событий.

Ключевые слова: Тыва, землетрясение, активная тектоника, очаг, сейсмический режим.

The article presents the results of seismological researches of Tuvan earthquakes since 2011 to 2012 which became the strongest for all history of seismological observations in Tuva. The earthquakes occurred in area of the Kaa-Khem deep fault that representing is one of the major seismo generating structures of the Altai-Sayan seismically active region. Traces of earthquakes are divided into two groups: secondary, representing the result of seismic tremors, and primary, which directly reflects the output of the earthquake source to the surface in the form of a rupture. A distinctive feature of the seismic ruptures of the two earthquakes is small length relative to the magnitude of events. The data collected on the distribution of secondary effects of earthquakes was allowed in general terms to outline the sections with magnitude of 8.0 and 9.0 that representing the total effect of the two events.

Key words: Tuva, earthquake, active tectonics, focus (seismic), seismic regime.

Введение

В 2011–2012 гг. на юге Сибири (Республика Тыва, Россия) в пределах Алтае-Саянской горной страны произошло два землетрясения с $M_s=6.7$ и 6.8 . Эти события оказались сильнейшими за всю историю сейсмологических наблюдений в Туве и стали первыми, хорошо изученными сильными землетрясениями этого региона. Они не привели к человеческим жертвам, но имели серьезные последствия, чем вызвали большой переполох среди местного