

Ю.А. Кугаенко , В.Л. Леонов , А.А. Коновалова

¹ Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

² Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА И СЕЙСМИЧНОСТЬ В РАЙОНЕ ДОЛИНЫ ГЕЙЗЕРОВ

Долина Гейзеров - уникальное гейзерное поле - является одной из главных природных достопримечательностей и Камчатки и России в целом. В 1970-1980-х годах здесь был выполнен большой объем геологических работ [1, 5, 8, 9], однако геофизические и сейсмологические исследования ранее не проводились, а базовые инструментальные наблюдения (постоянные GPS-пункты, региональные сейсмостанции) отсутствуют и в настоящее время. Это заставляет рассматривать район как малоизученный. В данной работе обобщены имеющиеся сведения о геодинамических процессах, тектонике и сейсмичности района Долины Гейзеров. Показано, что в последние годы здесь наблюдается геодинамическая активизация.

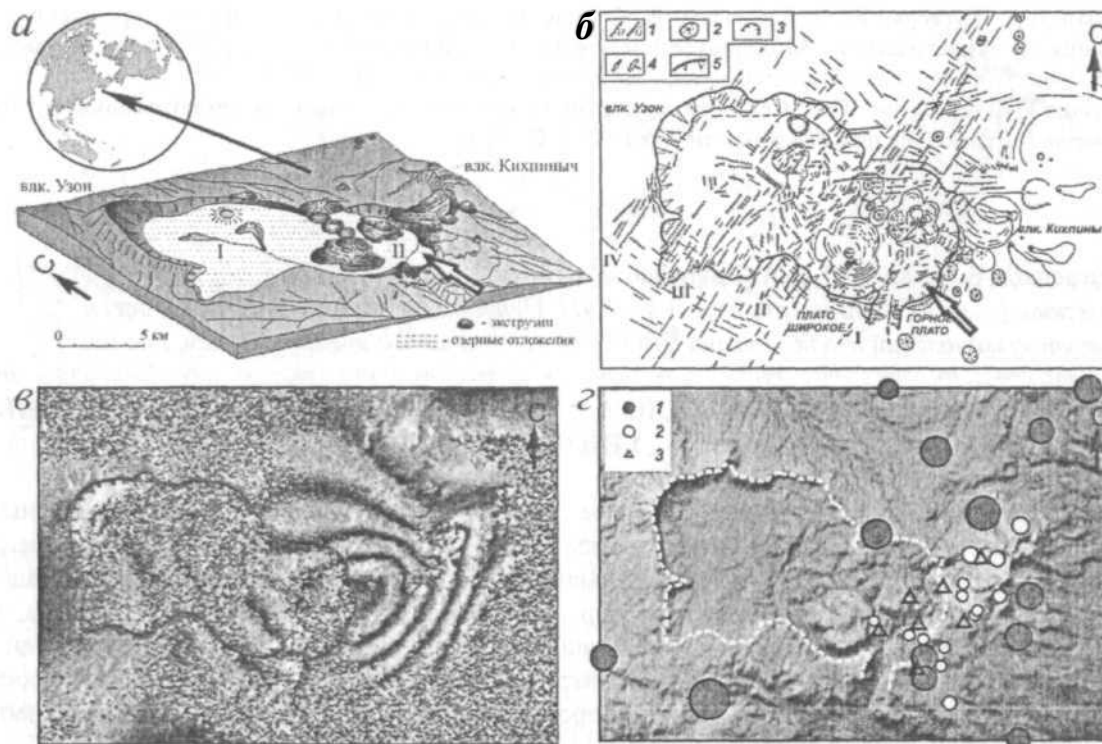
П-ов Камчатка, один из самых геодинамически активных регионов Земли, находится в зоне тройного конвергентного сочленения крупнейших литосферных плит: Евразийской, Тихоокеанской и Северо-Американской. Скорость относительного схождения (конвергенции) литосферных плит близка здесь к 8 см/год, что определяет и скорость субдукции [3].

Долина Гейзеров расположена вдоль восточного края обширной Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии (рисунок, *а*), представляющей собой сложную вытянутую в западном-северо-западном направлении структуру, являющуюся частью Восточного вулканического пояса Камчатки. Депрессия представляет собой крупное, разбитое на блоки опускание над неглубоким магматическим очагом, произошедшее по серии дуговых разломов. Амплитуда опускания оценивается до 800 м [9]. Депрессия, ограниченная хорошо сохранившимся кольцевым уступом, разделяется кислыми экструзивными куполами, внедрившимися на посткальдерном этапе, на две четко выраженные в рельефе впадины: западную - кальдеру Узон и восточную - Гейзерную. Глубина верхней кромки предполагаемого магматического очага под кальдерой и его диаметр оценены соответственно в 7-8 км и 10 км [1].

Район Узон-Гейзерной депрессии связан с узлом пересечения крупных разломов северо-восточного и субширотного простирания [4] (рисунок, *б*). Выделена также сеть разломов, ориентированных по отношению к депрессии концентрически. Сеть северо-восточных разрывных нарушений в районе отражает крупную зону растяжения земной коры (вулканический раздвиг), которая имеет ширину около 20 км и по простиранию выходит далеко за пределы района. Эта структура рассматривается как глубинный магмо- и флюидопроводящий разлом, питающий Восточно-Камчатский вулканический пояс [6, 8]. Субширотные разрывные нарушения в описываемом районе трассируют региональный субширотный Узоно-Валагинский разлом, который является глубинным сдвигом [8]. Дуговые разрывные нарушения ориентированы концентрически по отношению к центру вулканотектонической депрессии и имеют характер трещин или малоамплитудных сбросов. Время заложения концентрической системы разрывных нарушений в основном соответствует эпохе кальдерообразования. Установлено два основных периода активизации тектонических движений: средний и поздний плейстоцен.

Над восточным бортом Узон-Гейзерной депрессии возвышается сложный средне-верхнеплейстоценовый вулканический массив Кихпиньч (рисунок, *а, б*), молодой голоценовый ко-

нус которого относится к активным вулканам Камчатки [2]. Последняя активизация вулкана произошла менее 600 лет назад. Прогноз будущей деятельности вулкана неоднозначен. В настоящее время Кихпинич характеризуется слабой фумарольной деятельностью. Недавно была выявлена активность современных движений земной коры в районе вулкана Кихпинич [10]. По данным спутниковой интерферометрии (InSAR) показано, что в 2000-2003 гг. здесь зарегистрировано поднятие на 15 см (рисунок, *в*).



Сопоставление геологической, геофизической и сейсмологической информации о районе Узон-Гейзерной депрессии.

а — блок-диаграмма Узон-Гейзерной депрессии [1]. I — кальдера Узон, II - Долина Гейзеров. Стрелкой показано место, где произошел оползень 3 июня 2007 г. *б* - структурная схема района Узон-Гейзерной депрессии [4]. 1 — разрывные нарушения: сбросы (*а*), трещины (*б*); 2 - шлаковые конусы и экструзивные купола; 3 - кратерные воронки; 4 - дайки; 5 - эрозионный уступ, ограничивающий Узон-Гейзерную депрессию. I–IV - рои северо-восточных разрывных нарушений. Стрелкой показано место, где произошел оползень, *в* — интерферограмма на район Узон-Гейзерной депрессии [10]. Границы депрессии показаны линией с бергштрихами. Концентрические круги, приуроченные к восточной части депрессии, - район поднятия. Цикл окраски от светлого до темного соответствует поднятию на 2,8 см. В 2000-2003 гг. общее поднятие восточного борта депрессии составило около 15 см. *г* - сейсмичность района Узон-Гейзерной депрессии. 1 - региональные землетрясения за период 1962-2008 гг. ($h < 20$ км, $K=7-10$); 2 - локальные поверхностные землетрясения, зарегистрированные при полевых наблюдениях в 2007 и 2008 гг., $K=3,5-6,0$; 3 - временные сейсмические станции.

Для Узон-Гейзерной депрессии характерна как современная, так и прошлая интенсивная гидротермальная деятельность. В Долине Гейзеров, в узком ущелье, протягивающемся вдоль восточной границы Узон-Гейзерной депрессии, идет интенсивная разгрузка термальных вод. Предполагаемая область теплового питания высокотемпературной Гейзерной гидротермальной системы - вулканический массив Кихпинич [5].

3 июня 2007 года в Долине Гейзеров произошла природная катастрофа - крупный оползень, объем которого оценивается в 20×10^6 м³ (по данным В.Н. Двигало, ИВиС ДВО РАН). Он произошел внутри Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии, вблизи ее восточного борта (рисунок, *а*, *б*). Тело оползня образовали раздробленные озерные отложения, до этого прислоненные к борту депрессии. Высота стенки отрыва оползня - до 150 м, ее длина - около 800 м. Отрыв произошел по трещине, проходившей вдоль борта кальдеры в массиве озерных отложений. Эта трещина была отмечена на аэрофотоснимках 1973 г. и обследована в 1974 г., однако в дальнейшем ее мониторинг не проводился. По результатам обследования оползня [7] в обрушение были вовлечены разогретые породы, слагавшие ранее горный массив. Одной из основных причин оползня является ослабление по-

ристых пемзовых озерных отложений за счет их пропаривания при скрытой разгрузке гидротермальной системы.

Исследуемый район значительно удален от пунктов ведения сейсмологических наблюдений: ближайшая сейсмостанция камчатской региональной сети находится в 70 км. Имеющиеся данные по сейсмичности неполны. По данным региональной сети району Узон-Гейзерной депрессии присуща локальная мелкофокусная сейсмическая активность низкого энергетического уровня (рисунок, *з*), от 7 до 10 класса по энергетической классификации С.А. Федотова для Курило-Камчатских землетрясений.

В 2007 и 2008 гг. в Долине Гейзеров впервые были организованы временные сейсмические наблюдения: в 2007 г. - одной станцией в центральной части Долины, а в 2008 г. - микрогруппой из семи портативных цифровых сейсмометров Guralp CMG-6TD, которая захватила Долину Гейзеров и часть восточного борта депрессии. В результате проведенных исследований впервые были обнаружены слабые мелкофокусные локальные землетрясения (рисунок, *з*). Энергетический диапазон — от 3,5 до 6 класса. Эпицентры зафиксированных сейсмических событий расположены достаточно компактно. Они концентрируются в области, прилегающей к депрессии с востока и относящейся к вулканическому массиву Кихпиньч. Именно в этом районе зафиксировано поднятие борта кальдеры [10], и здесь же 3 июня 2007 г. произошел оползень.

Обобщая имеющиеся данные о тектонике, поднятии восточного борта депрессии, развитии процессов склоновой неустойчивости, концентрирующейся здесь слабой сейсмичности (рисунок), можно предположить, что все эти явления связаны между собой и их причиной являются глубинные процессы в недрах вулканического массива Кихпиньч.

Даже если геодинамическая активизация не закончится пробуждением вулкана и извержением, она грозит дальнейшими негативными событиями в Долине Гейзеров. Сейсмичность и интенсивные движения земной коры оказывают деструктивное действие на склон: активизируют появление и рост трещин, меняют конфигурацию трещинно-порового пространства. Это может способствовать ускоренному прониканию холодных и термальных вод в массивы озерных отложений, устойчивость которых уже частично нарушена после схода оползня в 2007 г. В условиях высокой сейсмической активности Камчатского региона эти процессы значительно повышают вероятность дальнейшего разрушения восточного склона Долины Гейзеров, где могут сформироваться зоны скрытой разгрузки Гейзерной гидротермальной системы и ослабленные гидротермально-измененные слои в основании оползнеопасных участков.

Для изучения развивающихся геодинамических процессов в Долине Гейзеров необходимо проведение комплекса научно-исследовательских работ, которые позволят отслеживать происходящие изменения, и, в первую очередь, необходимо изучение сейсмичности, современной вулканической активности, гидротермальных процессов.

Литература

1. Белоусов В.И., Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Геологические позиции гидротермальных систем Долины Гейзеров и кальдеры Узон // Вулканология и сейсмология. 1983. №1. С. 65-79.
2. Брайцева О.А., Флоренский И.В., Вольнец О.Н. Вулкан Кихпиньч // Действующие вулканы Камчатки. Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 74-93.
3. Левин В.Е., Магуськин М.А., Бахтиаров В.Ф. и др. Мультисистемный геодезический мониторинг современных движений земной коры на Камчатке и Командорских островах // Вулканология и сейсмология. 2006. № 3. С. 54-67.
4. Леонов В.Л. Разрывные нарушения Узон-Гейзерной депрессии // Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С.78-83.
5. Леонов В.Л., Гриб Е.Н., Карпов Г.А. и др. Кальдера Узон и Долина Гейзеров // Действующие вулканы Камчатки. Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 94-143.
6. Масуренков Ю.П. Структурная позиция Карымского вулканического центра // Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура). М.: Наука, 1980. С. 111-116.
7. Пинегина Т.К., Делемень И.Ф., Дроздин В.А. и др. Камчатская Долина Гейзеров после катастрофы 3 июня 2007 г. // Вестник ДВО РАН. 2008. № 1. С. 33-44.
8. Шандер А.Е. Некоторые особенности эволюции тектономагматических структур Камчатки в зависимости от ее блокового строения и движения блоков в позднем кайнозое // Бюл. вулканол. станций. М.: Наука, 1979. № 57. С. 53-65.
9. Эрлих Э.Н., Брайцева О.А., Зубин М.И. Тектоника Узонско-Гейзерной депрессии // Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. М.: Недра, 1974. С. 32-37.
10. Lundgren P., Lu Zh. Inflation model of Uzon caldera, Kamchatka, constrained by satellite radar interferometry observations // Geophysical Research Letters. 2006. V. 33, L06301, doi:10.1029/2005GL025181.