

СЕКЦИЯ ДРУГИЕ РЕГИОНЫ

doi: 10.24412/2687-1092-2025-12-497-505



РЕЛЬЕФ И СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В УЗОН-ГЕЙЗЕРНОЙ ВУЛКАНОТЕКТОНИЧЕСКОЙ ДЕПРЕССИИ (ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА)

✉ Котенков А.В.^{1,2}, Лебедева Е.В.¹

¹Институт географии РАН, Москва, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

✉ avkotenkov@yandex.ru

В ходе полевых работ 2020–2024 гг. проведена детальная геоморфологическая съёмка в Узон-Гейзерной депрессии, по результатам которой установлены формы рельефа и их комплексы. В восточной части морфоструктуры преобладают голоценовые и современные формы рельефа в условиях чрезвычайно активных флювиальных, селевых и склоновых процессов в основном на гидротермальных полях, в то время как на западе депрессии доминируют реликтовые позднеплейстоценовые формы рельефа, в меньшей степени переработанные современными флювиальными, озёрными и склоновыми процессами. Локальные сейсмические события 2023, 2024 гг. и крупное землетрясение регионального масштаба 30 июля 2025 гг. привели к слабым морфологическим изменениям в основном на нижнем участке долины р. Гейзерной. Однако, сейсмотектонический фактор имеет долгосрочный эффект и действует вместе с неоднородностями литологического строения и гидротермальными процессами. При сохранении повышенной активности в зоне субдукции они могут привести в ближайшее время к значительным гравитационным смещениям материала на восточном склоне кальдерного комплекса.

Ключевые слова: *геоморфологическая съёмка, рельеф кальдерного комплекса, современные формы рельефа, реликтовые формы рельефа, современная морфодинамика, сейсмические события, склоновые смещения материала*

Введение. Узон-Гейзерная вулканотектоническая депрессия – комплекс, состоящий из серии вложенных друг в друга разновозрастных кальдер. В нём расположена всемирно известная Долина Гейзеров, а также кальдера Узон, привлекающие сотни туристов ежегодно. В последнее время в долине р. Гейзерной активизировалась склоновая активность и последующие селевые процессы, которые значительно трансформировали как русло долины и его борта, так и уничтожили очень крупные красивые гейзеры [Сугробов и др., 2009; Леонов, 2014; Лебедева и др., 2020]. Подобные процессы могут повредить и уничтожить постройки на кордоне «Долина Гейзеров». Для уточнения участков более тщательного мониторинга за склоновыми процессами и разработки мер защиты сотрудников кордонов и туристов от опасных экзогенных процессов необходимо исследовать формы, созданные различными явлениями в восточной и в западной частях депрессии, выявить их различия, а также темпы морфодинамики.

Методы исследований. Проведена первая в Курило-Камчатском регионе полевая геоморфологическая съёмка и составлена среднемасштабная хрономорфогенетическая карта на кальдерный комплекс. В ходе съёмки за 2021–2024 гг. описано более 100 точек наблюдений, построено более 20 продольных и 40 поперечных геолого-геоморфологических профилей долин рек и ручьёв, опробовано более 140 разрезов рыхлых отложений. Построенные в поле профили сравнивались с таковыми, созданными в программе ArcMap 10.8. На визуально составленных профилях лучше выделяются локальные перегибы рельефа–террасовидные поверхности, которые свидетельствуют об этапах врезания, аккумуляции и геоморфологических процессах в долине. Генезис форм и их комплексов устанавливался по внешнему облику и морфометрическим параметрам: картам теневой отмывки, крутизны и экспозиции. Привлекалась фотосъёмка рельефа

кальдеры Узон с БПЛА Mavic Mini 2 Pro и космические снимки ESRI World View сверхвысокого разрешения [<https://doc.arcgis.com/en/data-appliance/latest/maps/world-imagery.htm>]. Например, ледниковая грядово-холмисто-западинная моренная равнина имеет «щероховатую» поверхность, а также выраженную ориентировку отдельных гряд в направлении с ЮЗ на СВ (направление движения ледникового потока от влк. Тауншиц). Кары обладают чашеобразной формой и расположены в прибровочных частях склонов плато Широкого. Для обвального-осыпных и оползневых склоновых форм характерен мелкохолмисто-западинный рельеф: сползшие блоки вулканогенно-озёрных слаболитифицированных отложений выделялись по белому цвету. При идентификации форм рельефа в качестве основы использованы детальные геологические карты и литературные материалы по Узон-Гейзерной депрессии [Вулканизм..., 1974; Действующие вулканы..., 1991; Леонов, Гриб, 2004; Сугробов и др., 2009; Фролова и др., 2015]. Для ряда форм рельефа определён генезис подстилающих рыхлых отложений, особенно в восточной части депрессии [Lebedeva et al., 2025]. Например, было доказано преимущественно селевое происхождение низких (до 15 м над урезом реки) террасовидных поверхностей в долине р. Гейзерной [Лебедева и др., 2024].

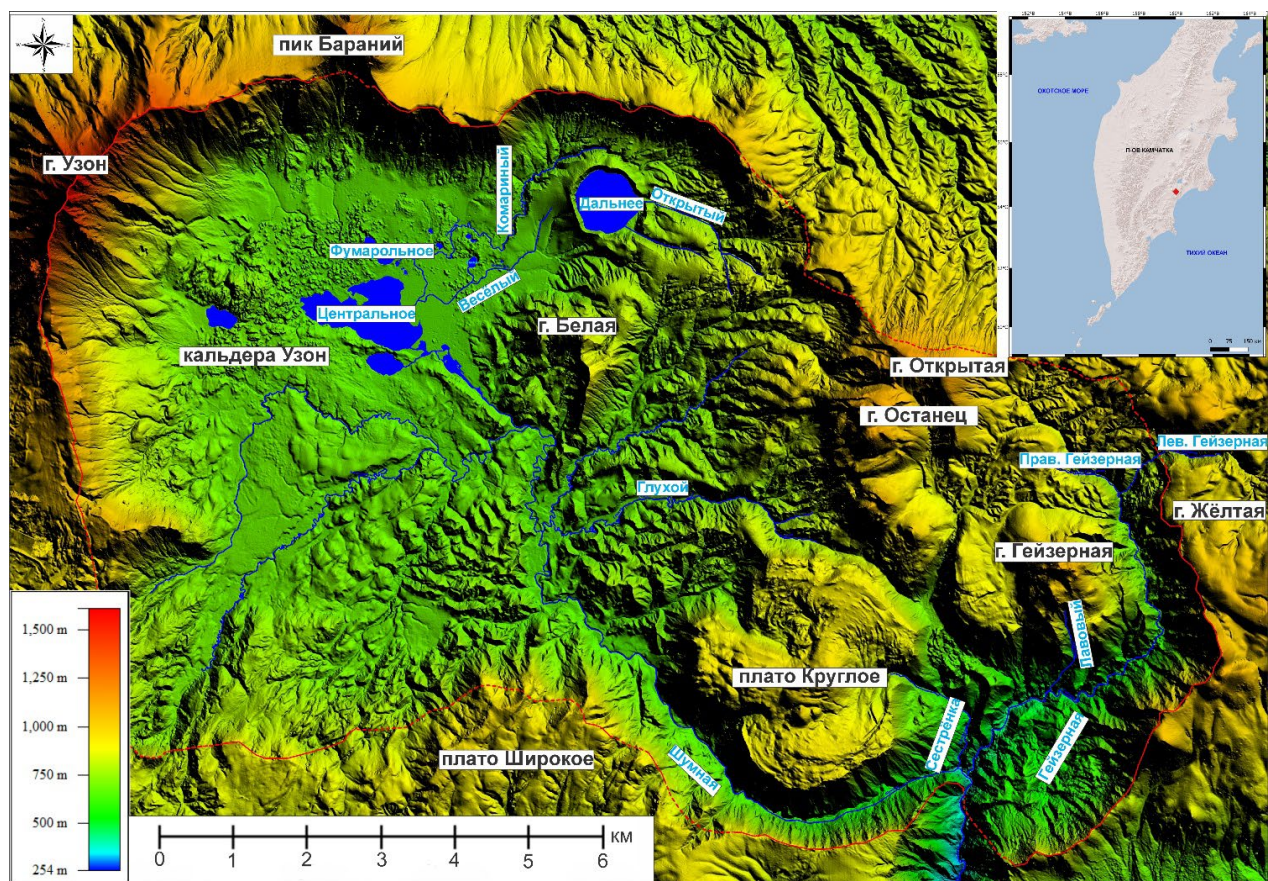


Рис. 1. Географическое положение Узон-Гейзерной депрессии. Тонкой красной сплошной линией показана чёткая граница (бровка) кальдерного комплекса, пунктирной линией – нечёткая (предполагаемая). На карте-врезке показано мелкомасштабное положение территории. В качестве основы использована ЦМР ArcticDEM v.4.1. с пространственным разрешением 2 м [<https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/>].

По результатам геоморфологической съёмки установлены современные процессы в депрессии. По визуальным наблюдениям отмечены слабые изменения рельефа, в основном в восточной части кальдеры с 2022 по 2025 гг. Здесь активная флювиальная и склоновая морфодинамика подтверждены количественными оценками скоростей денудации [Lebedeva et al., 2025] и результатами моделирования предрасположенности территории к оползням (Landslide Susceptibility Modeling) [Харченко и др., 2025].

Прослежены морфологические изменения, связанные с локальными сейсмическими событиями зимой 2023 г. и крупным землетрясением 30 июля 2025 г. [Benz et al., 2025]. В работах [Romero et al., 2021; Певзнер, 2021] отмечается прямая связь между частыми сейсмическими событиями и крупными гравитационными смещениями материала на склонах. К сожалению, в 2025 г. из-за сложностей с логистикой в Кроноцком заповеднике мы не смогли попасть на территорию исследований. Однако, благодаря работе там в этом году наших коллег – с. н. с. института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН М. Г. и А. Б. Белоусовых удалось проанализировать ряд фотоснимков на нижний и средний участок долины р. Гейзерной.

Результаты и обсуждение. В депрессии выделены три группы комплексов форм рельефа: первичный вулканотектонический рельеф депрессии, вторичный – комплексы форм, осложняющие первичный рельеф и комплексы форм, созданные в процессе моделировки осложняющих форм (рис. 2). Первичный рельеф кальдеры Узон сохранился в её центральной и западной части в виде чашеобразной формы с практически плоским днищем. Наибольшую площадь среди вторичного рельефа занимают экструзивные купола и массивы. Из экзогенных комплексов форм доминирует флювиальный рельеф: две крупные речные долины р. Шумной и р. Гейзерной с выраженным пойменно-террасовым комплексом, и многочисленные долины их притоков с невыраженной поймой и террасами. В центральной и в северо-восточной частях кальдерного комплекса представлены флювиально-озёрные формы – в различной мере расчленённые фрагменты днищ спущенных позднеплейстоценовых кальдерных озёр [Действующие вулканы..., 1991]. Значительную площадь занимают голоценовые обвальное-оползневые, обвальные и оползневые формы на склонах речных долин, формирующиеся в результате как газогидротермальных процессов, так и экстремальных осадков в отдельные годы [Lebedeva et al., 2025]. Термальные воды содержат множество агрессивных химических элементов, которые приводят к существенным изменениям ряда физико-химических свойств горных пород при взаимодействии с ними. Например, плотность изменённых пород уменьшается, а пористость увеличивается более чем в 2 раза. Это приводит к потере устойчивости пород на склоне [Фролова и др., 2015]. Реликтовые ледниковые и склоновые комплексы форм рельефа сохранились преимущественно в западной части кальдерного комплекса. Это аккумулятивный грядово-холмисто-западинный моренный рельеф в южной части кальдеры Узон и цепочка каров на склонах лавового плато Широкого и западных склонах вулкана Узон. Вероятно, они формировались во II фазу позднеплейстоценового оледенения [Вулканизм..., 1974; Леонов, Гриб, 2004]. В западной части днища кальдеры Узон и на склоне выделяется крупное тело обломочной лавины площадью 4 км². В отличие от обвальное-оползневых тел здесь чётко выражены: стенка срыва, жёлоб и аккумулятивное тело. Подобные формы детально описаны, например, у вулкана Молодой Шивелуч [Belousov et al., 1999]. Узонская обломочная лавина вероятно сошла в результате обрушения околожерловой фации вулкана Узон [Вулканизм..., 1974] из-за сильной гидротермальной проработки базальтов, что привело к их обрушению в месте пересечения запад-юго-западного линейного разлома и кольцевого разлома края кальдеры. На западном склоне кальдеры Узон представлено множество обвальное-оползневых тел сильно задернованных. Сейчас здесь не отмечается активных склоновых процессов. Среди форм, созданных моделировкой вторичного рельефа, выделяются газогидротермальный, криогенный – в кальдере вулкана Узон выше 640 м над у. м. и на вершинах экструзивных куполов выше 800 м над у. м., нивальный – преимущественно на склонах речных долин, экструзивных массивов и склонах депрессии выше 600 м над у. м., а также суффозионный – в основном в восточной части депрессии. Суффозия происходит в мощном (местами > 2 м) слое почвенно-пирокластического чехла (ППЧ). Реликтовыми являются эоловые формы в пределах гидротермальных полей и в поле развития моренного рельефа – результат перевевания материала в более холодные эпохи конца последнего ледникового максимума [Вулканизм..., 1974] и голоцена.

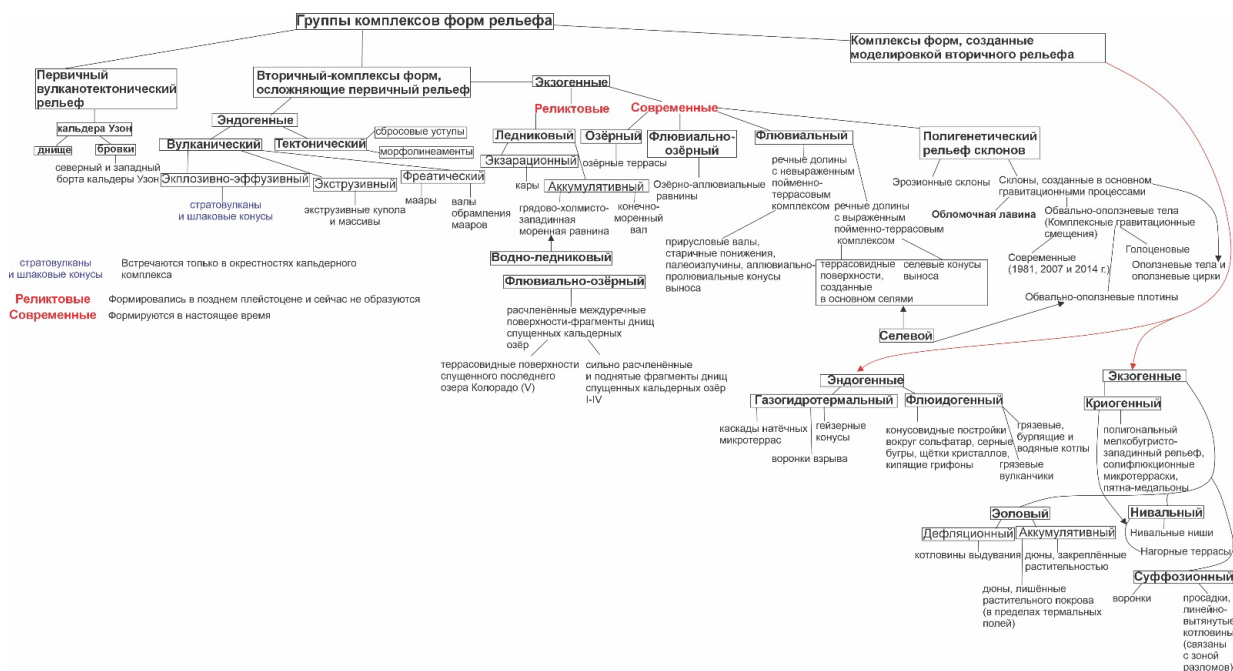


Рис. 2. Классификация форм и комплексов форм рельефа в Узон-Гейзерной депрессии.

В восточной части кальдерного комплекса преобладают склоновые, селевые, флювиальные, в меньшей степени нивальные, суффозионные и газогидротермальные процессы, в западной части – флювиальные, озёрные, склоновые и газогидротермальные процессы. На западе депрессии в конце XX в. отмечалась фреатическая активность, в ходе которой сформировались новые воронки взрыва на Западном термальном поле [Пономарёва и др., 2008]. Наиболее активная современная морфодинамика наблюдается в восточной части кальдеры – в долине р. Гейзерной, особенно в пределах термальных полей [Балдина и др., 2023; Lebedeva et al., 2025]. Здесь скорости экзогенных процессов достигают десятки мм – см/год [Lebedeva et al., 2025]. В центральной и в западной частях депрессии отмечается пассивная флювиальная и флювиально-озёрная морфодинамика. В долине р. Шумной и в пределах озёрно-аллювиальной равнины Узона хорошо выражены конусы выноса водотоков, прирусловые валы и палеоизлучины. Подобные формы в условиях активной морфодинамики в долине р. Гейзерной отсутствуют. На термальных полях Узона скорости флювиальных процессов будут выше за счёт более интенсивного врезания реки в податливые гидротермально изменённые рыхлые озёрно-болотные отложения. Современные склоновые процессы на западном склоне кальдеры практически не наблюдаются, в то время как на востоке они очень интенсивны: за последние 40 лет крупными обвально-оползневыми событиями перемещено до 24 млн. м³ материала [Lebedeva и др., 2020]. Отмечаются многочисленные следы свежих стенок срыва обвалов и оползней [Харченко и др., 2025].

Для района работ характерна высокая частота локальных сейсмических событий небольших энергий ($M=2-3$) [Кузнецов и др., 2010]. Регулярная их повторяемость на фоне ежегодного увеличения активности в зоне субдукции Курило-Камчатской островной дуги приводит к росту неустойчивости материала на склонах. Первые морфологически заметные изменения на нижнем и верхнем участках долины р. Гейзерной мы обнаружили в 2023 году после двух маломagnitudeных сейсмических событий зимой 2023 г. (рис. 3 А). Например, в основании Пика Слияния (место слияния р. Гейзерной и р. Шумной) обвалилась часть риодацитовой дайки, размер образовавшегося обвально-оползневого тела составил 105 м^2 (рис.3 А). В 2025 г. в результате крупного форшока 30 июля 2025 г. $M=8,8$ [Benz et al., 2025] и последующих афтершоков $M \sim 5-6$, происходивших в течении августа и сентября, были отмечены лишь незначительные подвижки материала на склоне другой риодацитовой дайки снова в нижнем течении р. Гейзерной. По ряду фотоснимков в

пределах аккумулятивного тела оползня-обвала 2014 г. отмечается повышенное парение. Оно может быть связано, как с метеорологическими условиями, так и с усилением парогазовой активности в депрессии. Для этого необходимо проводить более детальные вулканологические исследования. А.Б. и М.Г. Белоусовы подобных изменений не зафиксировали. Все наблюдаемые изменения в юго-восточной части кальдеры сконцентрированы вдоль кольцевого разлома, что позволяет предполагать сеймотектоническую природу наблюдаемых морфологических изменений. Но есть множество участков, где, несмотря на повышенную эндогенную динамику в восточной части депрессии, некоторые поверхности не изменились за период с 2020 по 2025 гг. Например, поверхность дайки «Триумфальные ворота в Гейзерную», расположенная на нижнем участке долины р. Гейзерной (рис. 3 Б).

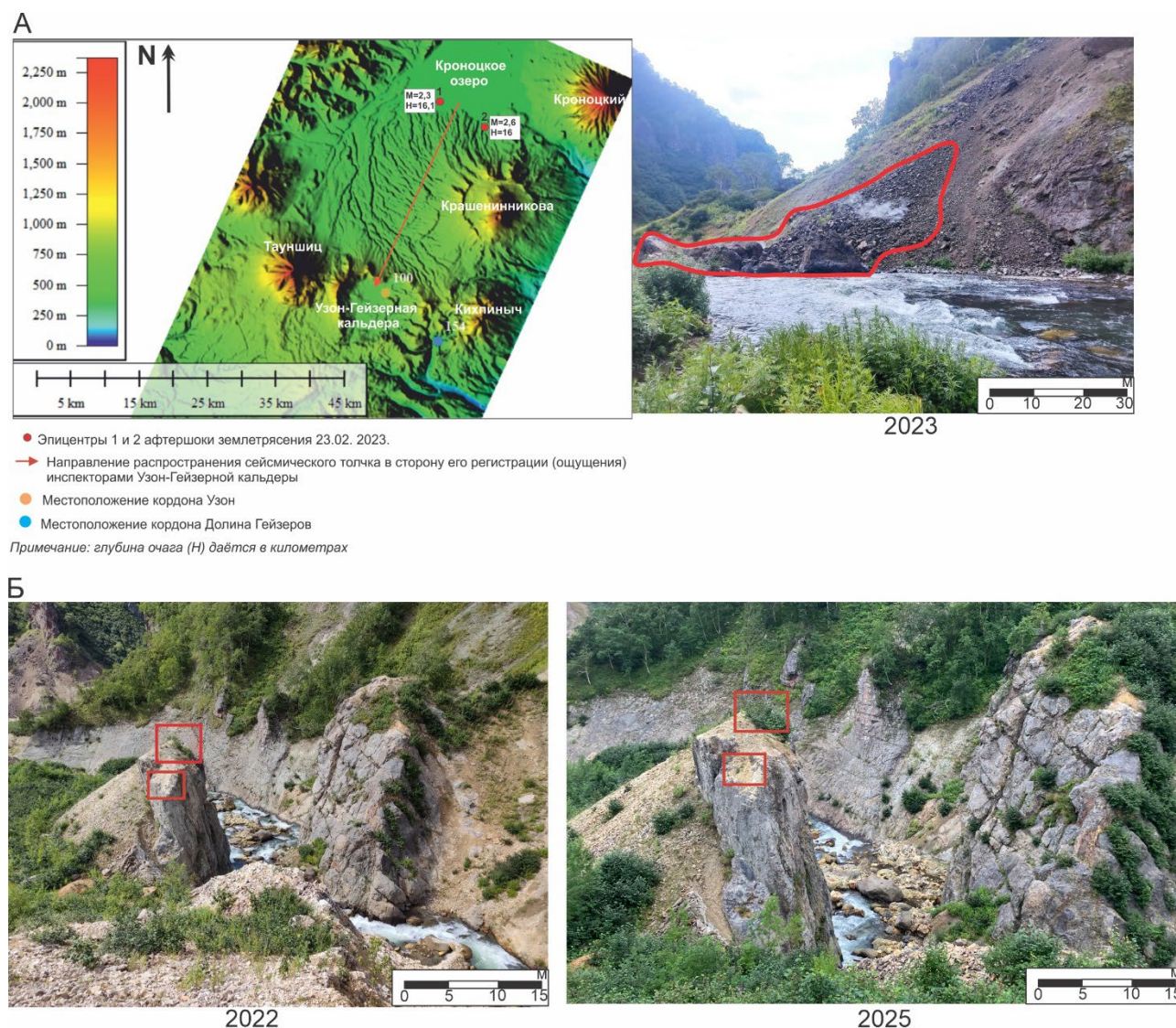


Рис. 3. А. Морфологические изменения в устье р. Гейзерной, связанные с землетрясением 22–23 февраля 2023 г. в южной части Кроноцкого озера. Б. Увеличение растительного покрова на некоторых участках (красные прямоугольники) поверхности дайки «Триумфальные ворота в Гейзерную» с 2022 по 2025 гг.

За указанный интервал наблюдений отдельные участки поверхности частично покрылись растительностью. То есть несмотря на регулярные сейсмические события активных подвижек материала на склонах так и не произошло, однако, данные феномены могут реализоваться в долгосрочной перспективе, тем самым следует ожидать в ближайшем будущем при сохранении повышенной активности в Курило-Камчатской зоне

субдукции более крупных новых склоновых смещений в пределах левого борта долины р. Гейзерной. Также после сейсмического события 2025 г. активизировалось множество вулканов, в том числе и близко расположенный северный конус вулкана Крашенинникова [Гирина и др., 2025]. При наличии активного промежуточного магматического очага под Молодым Кихпиничем [Кугаенко и др., 2010] следует ожидать и его дальнейшей активизации, что может привести к значительным перестройкам рельефа в бассейне р. Гейзерной. Особенно, если сформируется лавовый язык в западном направлении, как это случилось в раннем голоцене при последней крупной активности Кихпинича [Действующие вулканы..., 1991].

Выводы. Таким образом, впервые проведена в кальдерном комплексе детальная геоморфологическая съёмка, в ходе которой идентифицированы и классифицированы формы и их комплексы. В западной и в восточной частях Узон-Гейзерной депрессии преобладают разные рельефообразующие процессы, как реликтовые, так и современные. В восточной части кальдеры представлено меньше реликтовых форм и отмечается очень интенсивная современная морфодинамика, в основном флювиальная и склоновая. Последующими крупными оползнями, селями, интенсивной глубинной эрозией уничтожаются ранее созданные комплексы форм: древние обвально-оползневые тела, селевые конусы выноса и др. Наиболее высоких скоростей она достигает в геотермальных зонах. В западной части депрессии преобладают реликтовые формы: грядово-холмисто-западинный моренный рельеф и тело обломочной лавины. Они продолжают преобразовываться слабыми флювиальными, склоновыми и озёрными процессами. Сейсмическая активность оказывает влияние на незначительные морфологические изменения в восточной части депрессии. После локальных землетрясений в 2023 г. произошли ощутимые подвижки материала на склонах Пика Слияния и на нижнем участке долины р. Гейзерной. В 2025 г. после мощного сейсмического события $M=8,8$ и сотни последующих афтершоков в августе значимых смещений в долине р. Гейзерной не выявлено. Наоборот, на многих участках поверхность осталась стабильной и закрепились растительностью. Однако, землетрясения могут иметь долгосрочный эффект и действовать только совместно с гидротермальной активностью и литологическим фактором, что в дальнейшем может привести к довольно крупным склоновым явлениям в пределах левого борта кальдеры при условии сохранения повышенной активности в Курило-Камчатской зоне субдукции. Дальнейшие морфологические и инженерно-геологические исследования в аналогичных крупных кальдерных комплексах Камчатско-Курильской геоморфологической страны продолжаются авторами работ.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института географии РАН - FMWS-2025-0005. Полевые исследования проведены при поддержке гранта РНФ № 21-17-00216, мегагранта № 075-15-2024-554 «Глобальные климатические вызовы на территории России: ретроспективный анализ, прогноз и механизмы адаптации» и ФГБУ «Кроноцкий государственный заповедник» по программе научно-исследовательских работ по договору № 02/2020 «Особенности формирования флювиального рельефа вулканических регионов». Авторы выражают особую признательность всем, кто участвовал в проведении геоморфологической съёмки: А.Л. Захарову, С.С. Черноморцу, А.Л. Гуринову, Н.В. Аникиной и др. Выражаем благодарность Д.И. Школьному за предоставление фотоматериалов съёмки кальдеры Узон с БПЛА Mavic Mini 2 Pro. Мы очень признательны А.Б. и М.Г. Белоусовым за фотоматериалы из Долины Гейзеров 2025 г.

ЛИТЕРАТУРА

Балдина Е.А., Лебедева Е.В., Аникина Н.В. Активность геоморфологических процессов на склонах речных долин в условиях газогидротермальных проявлений (по разновременным снимкам и ЦМР) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2023. Т. 29. Ч. 1. С.272–287. doi: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-272-287

Вулканизм, гидротермальный процесс и рудообразование. М.: Недра, 1974. 264 с.

Гирина О.А., Мельников Д.В., Романова И.М. и др. Первое историческое извержения вулкана Крашенинникова (Камчатка) в 2025 г. по данным спутникового мониторинга в информационной системе VolSatView // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. №4. С. 397–404. doi: 10.21046/2070-7401-2025-22-4-397-404

Действующие вулканы Камчатки. В 2 томах. Т. 2 / Ред. С.А. Федотов., Ю. П. Масуренков. .: Наука, 1991. 415 с.

Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Горбатилов А.В., Степанова М.Ю. Глубинная структура района Узон-Гейзерной вулcano-тектонической депрессии по данным микросейсмического зондирования // Доклады Академии наук. 2010. Т.435. №1. С.96–100.

Лебедева Е.В., Захаров А.Л., Котенков А.В. Формирование террас в долине реки с активными газогидротермальными проявлениями (на примере р. Гейзерной, п-ов Камчатка) // Геоморфология и палеогеография. 2024. Т. 55. №3. С. 123–145. doi: S2949178924030071

Лебедева Е.В., Сугробов В.М., Чижова В.П., Завадская А.В. Долина р. Гейзерной (Камчатка): гидротермальная деятельность и особенности рельефообразования // Геоморфология. 2020. № 2. С. 60–73. doi: 10.31857/S0435428120020066

Леонов В.Л., Гриб Е.Н. Структурные позиции и вулканизм четвертичных кальдер Камчатки. ладивосток: Дальнаука, 2004. 189 с.

Леонов В.Л. Обвал и оползень, произошедшие 4 января 2014 г. в Долине Гейзеров, Камчатка, и их последствия // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2014. Вып. 23. №1. С. 7–20.

Пономарёва В.В., Чурикова Т.Г., Мелекесцев И.В., и др. Позднеплейстоцен-голоценовый вулканизм Камчатки // Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Том II. Новейший вулканизм северной Евразии: закономерности развития, вулканическая опасность, связь с глубинными процессами и изменениями природной среды и климата. М.: ИГЕМ РАН. 2008. С. 19–40.

Певзнер М.М., Волынец А.О., Лебедев В.А. Седанкинский дол (Срединный хребет Камчатки): Изотопный К-Аг возраст вулканов, взаимоотношение вулканических и ледниковых форм рельефа // Вулканология и сейсмология. 2021. №5. С.25–34. doi: 10.31857/S0203030621040039

Сугробов В.М., Сугробова Н.Г., Дроздин В.А. и др. Жемчужина Камчатки – Долина Гейзеров. Научно-популярный очерк, путеводитель. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. 2009. 108 с.

Фролова Ю.В., Гвоздева И.П., Чернов М.С., Кузнецов Н.П. Инженерно-геологические аспекты гидротермальных преобразований туфогенных пород Долины гейзеров (полуостров Камчатка) // Инженерная геология. 2015. № 6. С. 30–42.

Харченко С.В., Котенков А.В., Лебедева Е.В. Предрасположенность территории с газогидротермальными проявлениями к развитию оползней (на примере долины р. Гейзерной, Камчатка) // География и природные ресурсы. 2025. №3. С. 102–114. doi: 10.15372/GIPR20250310

Belousov A.B., Belousova M.G., Voight B. Multiple edifice failures, debris avalanches and associated eruptions in the Holocene history of Shiveluch volcano, Kamchatka, Russia // Bull. Volcanol. 1999. Vol.61. P. 324–342. doi: 10.1007/s004450050300

Benz H., Herman M., Furlong K., et al. The 29 July 2025, M 8.8 Kamchatka Earthquake // U.S. Geological Survey Story Map. 2025. URL: <https://earthquake.usgs.gov/storymap/index-kamchatka2025.html>

Lebedeva E.V., Baldina E.A., Chernomorets S.S., et al. Slope mass movements and debris flow formation in the Geysernaya River valley (Kamchatka, Russia) // Geomorphology. 2025. Vol. 491, 110029. doi: 10.1016/j.geomorph.2025.110029

Romero J.E., Polacci M., Watt S., et al. Volcanic lateral collapse processes in mafic arc edifices: a review of their driving processes, types and consequences // *Frontiers in Earth Science*. 2021. Vol. 9, 639825. doi: 10.3389/feart.2021.639825

ArcticDEM Explorer. Электронный ресурс. URL: <https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/> (дата обращения: 27.02.2025).

ESRI World Imagery. ArcGIS Data Appliance. Электронный ресурс. URL: <https://doc.arcgis.com/en/data-appliance/latest/maps/world-imagery.htm> (дата обращения: 20.01.2025).

LANDFORMS AND CURRENT GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES IN THE UZON-GEYSERNAYA VOLCANOTECTONIC DEPRESSION (EASTERN KAMCHATKA)

Kotenkov A.V.^{1,2}, Lebedeva E.V.¹,

¹ Institute of Geography RUS, Moscow, Russia

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

During the fieldwork in 2020–2024, we conducted the detailed geomorphological survey of the Uzon-Geysernaya Depression, as a result we detected the landforms and their complexes. The eastern part of the morphostructure is dominated by Holocene and current landforms under conditions of extremely active fluvial, debris flow and slope processes, mainly in the geothermal zones, while the western part of the caldera is prevailed by relict Late Pleistocene landforms, which are transformed slowly by modern fluvial, lacustrine and slope processes. Local seismic events in 2023 and 2024, and a major regional earthquake on July 30, 2025 caused slight morphological changes mainly in the lower part of the Geysernaya River valley. However, the seismotectonic factor has a long-term effect and acts together with heterogeneities of the lithology and hydrothermal activity. While maintaining increased activity in the subduction zone, they may lead in the near future to intensive gravitational displacements on the eastern slope of the caldera complex.

Keywords: *geomorphological survey, caldera complex landforms, modern terrain, relict terrain, current morphodynamics, seismic events, slope material displacements*

REFERENCES:

Active volcanoes of Kamchatka. In 2 volumes. Vol. 2 / Edited by S.A. Fedotov, Yu. P. Masurenkov. M.: Nauka, 1991. 495 p. (in Russian).

Baldina E.A., Lebedeva E.V., Anikina N.V. The activity of geomorphological processes on the slopes of river valleys under conditions of gas hydrothermal manifestations (according to time-lapse images and DEM) // *InterKarto. InterGIS*. 2023. Vol. 29. Part 1. P.272–287. doi: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-272-287 (in Russian).

Belousov A.B., Belousova M.G., Voight B. Multiple edifice failures, debris avalanches and associated eruptions in the Holocene history of Shiveluch volcano, Kamchatka, Russia // *Bull. Volcanol*. 1999. Vol.61. P. 324–342. doi: 10.1007/s004450050300

Benz H., Herman M. Furlong K., et al. The 29 July 2025, M 8.8 Kamchatka Earthquake // *U.S. Geological Survey Story Map*. 2025. URL: <https://earthquake.usgs.gov/storymap/index-kamchatka2025.html>

Frolova Yu.V., Gvozdeva I.P., Chernov M.S., Kuznetsov N.P. Engineering and geological aspects of hydrothermal transformations of tuff rocks of the Valley of geysers (Kamchatka Peninsula) // *Engineering geology*. 2015. № 6. P. 30–42. (in Russian).

Girina O.A., Melnikov D.V., Romanova I.M. and others. The first historical eruption of the Krashenninnikov volcano (Kamchatka) in 2025 according to satellite monitoring data in the VolSatView information system // *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2025. Vol. 22. No. 4. P. 397–404. doi: 10.21046/2070-7401-2025-22-4-397-404 (in Russian).

Kharchenko S.V., Kotenkov A.V., Lebedeva E.V. Predisposition of the territory with gas hydrothermal manifestations to the development of landslides (on the example of the valley of the Geysernaya River, Kamchatka) // *Geography and natural Resources*. 2025. № 3. P. 102–114. DOI: 10.15372/GIPR20250310 (in Russian).

Kugaenko Y.A., Saltykov V.A., Gorbatikov A.V., Stepanova M.Y. Deep structure of the region of the uzon-geyser volcanic-tectonic depression based on the data of microseismic sounding // *Doklady Earth Sciences*. 2010. Vol. 435. № 1. P. 1460-1465. doi: 10.1134/S1028334X10110115

Lebedeva E.V., Baldina E.A., Chernomorets S.S., et al. Slope mass movements and debris flow formation in the Geysernaya River valley (Kamchatka, Russia) // *Geomorphology*. 2025. Vol. 491, 110029. doi: 10.1016/j.geomorph.2025.110029

Lebedeva E.V., Sugrobov V.M., Chizhova V.P., Zavadskaya A.V. Valley of the Geysernaya River (Kamchatka): hydrothermal activity and features of relief formation // *Geomorfologiya*. 2020. No. 2. P. 60–73. doi: 10.31857/S0435428120020066 (in Russian).

Lebedeva E.V., Zakharov A.L., Kotenkov A.V. Formation of terraces in the river valley with active gas hydrothermal manifestations (on the example of the Geysernaya River, Kamchatka Peninsula) // *Geomorfologiya i Paleogeografiya*. 2024. Vol. 55. № 3. P. 123–145. doi: S2949178924030071 (in Russian).

Leonov V.L. Avalanche and landslide that occurred on January 4, 2014 in the Valley of Geysers, Kamchatka, and their consequences // *Bulletin of KRAUNTS. Series: Earth Sciences*. 2014. Vol. 23. № 1. P. 7–20. (in Russian).

Leonov V.L., Grib E.N. Structural positions and volcanism of the Quaternary calderas of Kamchatka. Vladivostok: Dalnauka Publ., 2004. 189 p. (in Russian).

Pevzner M.M., Volynets A.O., Lebedev V.A. Sedankinsky Dol (Sredinny range, Kamchatka): K-Ar isotopic age of volcanoes, relationship of volcanic and glacial relief forms // *Journal of Volcanology and Seismology*. 2021. Vol. 15. № 5. P. 314-322. doi: 10.1134/S0742046321040035

Ponomareva V.V., Churikova T.G., Melekeshev I.V., et al. Late Pleistocene-Holocene volcanism of Kamchatka/Environmental and climate change: natural and related man-made disasters. Volume II. The latest volcanism in northern Eurasia: patterns of development, volcanic danger, connection with deep processes and changes in the natural environment and climate. Moscow: IGEM RAS. 2008. P. 19–40. (in Russian).

Sugrobov V.M., Sugrobova N.G., Droznin V.A. et al. Zhemchuzhina Kamchatki – Dolina Geizerov. Nauchnopopulyarnyi ocherk, putevoditel' (The Pearl of Kamchatka is the Valley of Geysers. Popular science essay, guide). Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress (Publ.). 2009. 108 p. (in Russian).

Romero J.E., Polacci M., Watt S., et al. Volcanic lateral collapse processes in mafic arc edifices: a review of their driving processes, types and consequences // *Frontiers in Earth Science*. 2021. Vol. 9, 639825. doi: 10.3389/feart.2021.639825

Volcanism, hydrothermal process and ore formation. Moscow: Nedra, 1974. 264 p. (in Russian).

ArcticDEM Explorer. URL: <https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/>

ESRI World Imagery. ArcGIS Data Appliance. URL: <https://doc.arcgis.com/en/data-appliance/latest/maps/world-imagery.htm>