

doi: 10.24412/2687-1092-2024-11-531-538



РАЗВИТИЕ КРИОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСТРОВЕ ОНЕКОТАН, КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА

✉ *Задорожная Н.А.*

Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия

✉ *ZNataly95@yandex.ru*

Впервые на острове Онекотан (Большая Курильская гряда) были исследованы криогенные процессы, проявляющиеся на открытых, хорошо продуваемых участках острова. Холодные потоки воздуха с Охотского побережья способствуют формированию пятен-медальонов и развитию бугристо-западного рельефа (туфуров), которые образуются за счет процессов промерзания-протаивания в деятельном слое в результате совокупности климатических и геологических локальных условий. Криогенные формы рельефа наиболее вероятно связаны с проявлением морозного пучения, развивающегося благодаря преобладанию в верхних горизонтах пород мелкодисперсного материала с высокой влажностью. На основе построенной карты криогенных процессов и явлений для острова Онекотан была посчитана приблизительная площадь, занимаемая криогенным рельефом, которая равна 86 км², что составляет 20,2 % от территории острова. При планировании строительства для безопасного размещения инженерных объектов рекомендуется избегать участки острова с активными сезонными криогенными процессами, чтобы предотвратить нежелательные конструктивные разрушения.

Ключевые слова: *остров Онекотан, Курильские острова, криогенные процессы, деятельный слой, сезонное промерзание, морозное пучение, бугристо-западный рельеф, туфуры, пятна-медальоны*

Введение. Курильские острова представляют собой островодужный вулканический пояс, сформировавшийся над зоной поддвига (субдукции) Тихоокеанской литосферной плиты в Курило-Камчатском глубоководном желобе. Остров Онекотан относится к Большой Курильской гряде, где проявляется современный наземный вулканизм. Среди опасных природных явлений выделяются землетрясения, извержения вулканов, цунами и тайфуны, а также обвалы, оползни, сели, лавины, ураганы, штормовые нагоны [*Большая российская энциклопедия*].

Остров Онекотан ранее подробно изучался вулканологами и геологами, но до настоящего момента совершенно отсутствовали какие-либо опубликованные материалы по развитию криогенных процессов на данной территории. Благодаря экспедиции Русского Географического Общества «Восточный Бастион – Курильская гряда», состоявшейся в июле-августе 2024 года, были впервые собраны ценные данные о формировании криогенного рельефа на острове.

Возможность развития геокриологических процессов и явлений на изученной территории обусловлена в значительной степени климатическими особенностями региона. Остров Онекотан относится к Северным Курильским островам, которые находятся под влиянием барических систем, формирующихся над холодными водами северной части Тихого океана, Охотского моря и холодного Курильского течения. Климат умеренный морской, холодный, имеет субарктические черты, характеризуется высокой влажностью воздуха, суровой снежной зимой, влажным прохладным летом и повышенным ветровым режимом. Юго-восточные и южные течения с Тихого океана обуславливают большую повторяемость туманов (120-160 дней в год). На северных островах Курильской гряды отмечается самое низкое значение летней температуры воздуха (средняя температура августа +10 °С) в Северном полушарии на соответствующих широтах. Годовая сумма осадков колеблется от 500-600 мм до 1100-1700 мм, треть из них выпадает в холодный период. Остров Онекотан по физико-географическим условиям приравнивается к районам

Крайнего Севера, что делает его особо неблагоприятным для проживания и ведения сельского хозяйства [Официальный сайт...].

На острове Онекотан отмечается нечеткая высотная поясность, но в верхнем поясе можно выделить тундровые и луговые комплексы, а на скалистых склонах довольно большой крутизны развиты горно-тундровые сообщества. В целом, суровый климат способствует произрастанию на острове достаточно угнетенной (низкорослой) растительности. На наиболее открытых участках водоразделов, подверженных сильному ветровому переносу и частым продолжительным туманам, характерно развитие тундровой растительности (шикша, голубика, мхи и лишайники). На этих же участках широкое распространение имеют криогенные формы рельефа и наблюдается развитие современных геокриологических процессов.

Развитие криогенных процессов в горных областях с сезонным промерзанием изучены менее подробно, чем в перигляциальных зонах или в районах распространения многолетнемерзлых пород (ММП), поэтому исследование мерзлотных образований в таком труднодоступном месте, как остров Онекотан, имеют огромную ценность.

Остров Онекотан сложен комплексом олигоцен-четвертичных вулканогенных и вулканогенно-обломочных пород. В верхних частях разрезов в долинах рек и в береговых обнажениях можно выделить пролювиальные и аллювиальные отложения, горизонты тефры. При изучении почвенных разрезов отмечалось несколько отчетливо читаемых слоев пеплов, маркирующих известные извержения последних столетий и нескольких тысячелетий, причем не только на Онекотане, но и на соседних островах. С точки зрения гранулометрического состава, в шурфах преобладают мелкие и пылеватые пески, чередующиеся с включениями гравия, дресвы, гальки, щебня, а в береговых и русловых обрывах встречаются также глыбы и валуны. Такой разнообразный состав обусловлен переносом и перемешиванием материала за счет различных геологических (вулканизм, тектонические подвижки, землетрясения, трансгрессии и регрессии моря) и геоморфологических (денудация, склоновые процессы, эрозия, криогенное выветривание, экзарация и др.) процессов.

Ведущими природными процессами, формирующими современный облик рельефа и ландшафтов, являются: современный вулканизм, склоновые процессы, перенос материала дождевыми потоками, формирование и таяние большого количества снежников, криогенные процессы, влияние тайфунов, активный перенос воздушных масс через территорию острова между Охотским морем и Тихим океаном, продолжительные туманы.

На острове представлена сложная геоморфологическая структура, так как рельеф слагался не только благодаря вулканизму и процессам денудации, но и осложнялся формированием ледниковых форм рельефа. В связи с плейстоценовым развитием оледенений на острове Онекотан [Власов, 1958; Горшков, 1967] многие речные долины имеют признаки троговых долин. Среди других признаков существования ледников можно отметить формы рельефа, напоминающие экзарационные, такие как: кары, карлинги, висячие долины. Вероятнее всего возникали лахары.

Большая часть территории острова изрезана мелкими и крупными речными долинами, распространен овражно-балочный рельеф, а также на открытых участках с сильными частыми ветрами развит бугристо-западинный рельеф (рис. 1). В естественных понижениях, в эрозионно-денудационных врезках и в речных долинах часто встречаются снежники, причем не только однолетние, а еще перелетки и захороненные. Снежники на склонах способствуют углублению первичных неровностей и формируют нивальные впадины и ниши, а также эрозионные формы рельефа в результате временных водных потоков.



Рис. 1. Бугристо-западинный рельеф в центральной части острова.

Совокупность всех перечисленных климатических, геологических, геоморфологических и ландшафтных условий обеспечила на острове благоприятную обстановку для возникновения криогенных процессов в деятельном слое. В результате сезонного промерзания и протаивания мелкодисперсных переувлажненных пород возникают морозное пучение и криотурбации.

Проявление криогенных процессов. Между горных массивов на острове широко распространены открытые пологонаклонные территории, которые подвержены сильным ветровым переносам с Охотского моря и Тихого океана, там практически отсутствует кустарниковая растительность. На таких участках и хорошо продуваемых склонах произрастает тундровая или тундроподобная растительность, которая в свою очередь маркирует развитие геокриологических процессов. Активное проявление криогенных форм рельефа, таких как пятна-медальоны (рис. 2) и бугристо-западинный рельеф (рис. 1), максимально выражено от западной части острова до центральной, где преобладают холодные потоки воздуха с Охотского побережья.



Рис. 2. Пятна-медальоны в центральной части острова (слева – незадернованные глинистые пятна-медальоны с малым количеством камней, справа – пятна-медальоны с большим количеством крупнообломочного материала на поверхности).

В результате сочетания рельефа, довольно суровых климатических и местных геологических особенностей на пологонаклонных поверхностях, не закрытых от ветра

хребтами, возникают локальные условия для существования скудного растительного покрова, скопления большого количества влаги в приповерхностных слоях пород, сдувания снежного покрова, а также малого поступления солнечного света из-за частых туманов. Все эти факторы приводят к глубокому и быстрому промерзанию пород, которое влечет за собой неравномерный переход влаги в мерзлое состояние, увеличивая объем грунтов, что вызывает морозное пучение. Процессы влаго- и массопереноса в породах во время промерзания могут сильно различаться в зависимости от микрорельефа и особенностей растительного покрова, который может задерживать снег, оказывающий отепляющее влияние.

Бугристо-западинный рельеф, широко развитый на острове (рис. 1), может иметь как современный возраст, так и являться палеокриогенными формами рельефа. Вероятнее всего, причиной их возникновения являлось не образование полигонально-жильных льдов с их дальнейшей деградацией, а морозное пучение, в результате которого образуются бугры пучения, проявляющиеся на острове в виде туфуров, которые обычно распространены на переувлажненных луговых участках. В среднем размер бугров составляет 130×150×30 см, скопления туфуров образуют туфуровые поля (или площади пучения).

Бугры на туфуровых полях в большей степени расположены упорядоченно, образуя параллельные ряды или сетчатый (полигональный) рисунок. В районах с ММП пучение происходит из-за нарастания криостатического давления в замкнутом пространстве, приводящего к выдавливанию минеральной массы вверх. Можно предполагать, что на Онекотане туфуры связаны с первоначальным формированием бугорков пучения в условиях маломощной многолетней мерзлоты, а далее за счет пространственной неравномерности сезонного промерзания происходило дальнейшее развитие этих форм рельефа в обстановке отсутствия ММП. С такой точки зрения, в прошлом на данной территории были распространены многолетнемерзлые породы, а в настоящий момент в рельефе выражены древние образования голоценового возраста.

Но по другой версии, туфуры могут возникать вне условий вечной мерзлоты при глубоком сезонном промерзании, невысоких среднегодовых температурах воздуха и сдуваемом сильными зимними ветрами снежном покрове. Все эти условия соблюдаются на Онекотане в местах распространения упоминаемого криогенного рельефа, соответственно, развитие процессов может быть современным и происходить в нынешнее время. Наиболее часто описываемый механизм образования туфуров вне зоны ММП заключается в начальном промерзании микроповышений, при котором увеличивается разность температур между лишенными снега повышениями и заснеженными понижениями, происходит миграция влаги к фронту промерзания, а затем и перераспределение минеральных частиц, тем самым с каждым годом микроповышение будет увеличиваться [Горбунов и др., 1999].

В пределах распространения криогенного рельефа (туфуровых полей – рис. 1; полей пятен-медальонов – рис. 2) были выкопаны шурфы. Наряду с описанием пород, производился отбор образцов на гранулометрический состав, а также измерялась температура и влажность пород. В шурфах, исследованных на острове в районе распространения пятен-медальонов и бугристо-западинного рельефа, наблюдаются отчетливые признаки криотурбаций до глубины примерно 90 см, особенно в верхних 70 см. Это обусловлено чередованием промерзания-протаивания и активным влаго- и массопереносом за счет криогенных процессов внутри почвенных горизонтов. Можно проследить выпучивание мелкодисперсного материала на поверхность по цвету пород, а также заметить перенос крупнообломочного материала из нижних слоев вверх за счет процессов морозного пучения.

Образование пятен-медальонов в классическом понимании происходит в основном в районах развития ММП, но реже наблюдается и благодаря сезонным криогенным процессам в деятельном слое. Механизм развития данных образований вне областей

мерзлоты может быть различным, так как сильно зависит от локальных природных условий.

На острове Онекотан в настоящий момент, скорее всего, происходит совокупность криогенных процессов – морозобойное растрескивание в пределах сезонно-мерзлого слоя и морозное пучение в следствие неоднородности гранулометрического состава и высокой влажности пород. Образование пятен-медальонов связано с тем, что по бокам трещин промерзание идет быстрее, в центре полигональной структуры создается избыточное криостатическое давление и по ослабленным зонам происходит прорыв вверх разжиженной мелкодисперсной породы. Либо образование пятен-медальонов происходит весной, при колебаниях температур, когда снизу еще сохраняется сезонно-мерзлый слой, а сверху недавно протаявший горизонт снова начинает промерзать при резком понижении температуры воздуха, создавая в талой зоне высокое криостатическое давление, приводящее к выдавливанию мелкодисперсного субстрата на поверхность по ослабленным зонам. Затем в деятельном слое начинается морозная сортировка пород из-за пучения, поэтому на поверхности пятен-медальонов можно наблюдать вытеснение крупнообломочного материала, связанное с выпучиванием каменных обломков за счет их более раннего промерзания и их приподнятия из-за образования ледяных линз под ними.

Формирование пятен-медальонов на острове – современный процесс, так как пятна незадернованы, а значит он будет только усиливаться из-за наличия большого количества ослабленных зон, способствующих развитию криогенных процессов и явлений в условиях сезонного промерзания пород. На острове отмечаются незадернованные глинистые пятна-медальоны с малым количеством камней и пятна-медальоны с большим количеством крупнообломочного материала на поверхности.

Развитие криогенных форм рельефа в местах антропогенного воздействия приводит в свою очередь к активизации неблагоприятных природных явлений, таких как нарушение почвенно-растительного покрова, поверхностное переувлажнение грунтов и др. (рис. 3), поэтому следует избегать в дальнейшем хозяйственное использование подобных участков с целью предотвращения заболачивания и других негативных последствий, в том числе невозможности использования объектов действующей инфраструктуры.



Рис. 3. Развитие криогенных процессов вдоль дороги от вулкана Креницына до хребта Крыжановского (слева – более заросшая дорога среди туфурового поля, справа – размытая дорога среди участка с пятнами-медальонами).

Исходя из собранных полевых данных о проявлении криогенного рельефа на острове и анализа космоснимков, по которым было произведено дешифрирование, была построена схематическая карта распространения криогенных процессов на острове (рис. 4). Карта имеет приблизительный характер, так как качество доступных космических снимков не

позволяет точнее выделять объекты, особенно в северной части острова Онекотан, поэтому возможно более широкое распространение криогенного рельефа.

На основе построенной карты криогенных процессов и явлений была посчитана приблизительная площадь острова с криогенным рельефом, которая равна 86 км², что составляет 20,2 % от территории Онекотана, то есть доля острова с признаками криогенных процессов составляет примерно 1/5. Территории с современным развитием сезонных геокриологических процессов наиболее подвержены заболачиванию в случае изменения температурно-влажностного режима (активное использование дорожной колеи или строительство инженерных сооружений).

Для безопасного размещения инженерных объектов (туристических, гражданских или военных) рекомендуется избегать участков с активными склоновыми и криогенными процессами, чтобы предотвратить нежелательные конструктивные разрушения, такие как образование трещин, просадки зданий, выпучивание свай и др. При планировании строительства рекомендуется обязательно проводить комплекс инженерных изысканий.

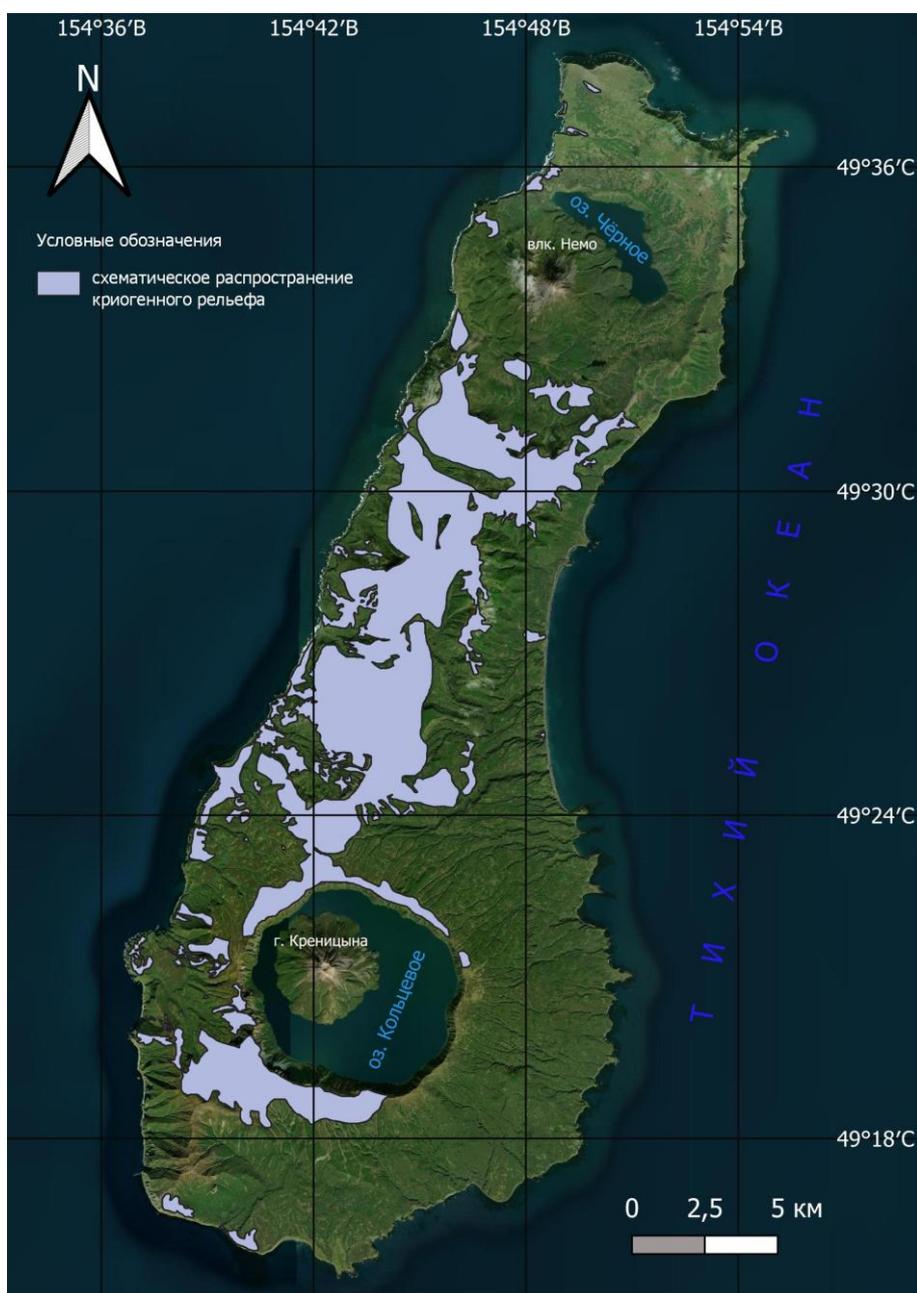


Рис. 4. Схематическая карта распространения криогенного рельефа на острове Онекотан.

Выводы. На острове Онекотан были впервые исследованы криогенные формы рельефа, поэтому полученные в ходе экспедиции данные представляют особую ценность. На открытых, хорошо продуваемых участках острова, особенно со стороны Охотского моря, наблюдается широкое распространение бугристо-западного рельефа и пятен-медальонов за счет процессов промерзания-протаивания в сезонно-мерзлом слое в результате совокупности природных локальных условий.

На основе построенной схематической карты распространения криогенных форм рельефа было посчитано, что площадь, занимаемая ими на острове, составляет приблизительно 1/5 долю от территории Онекотана. В данный момент на участках с проявлением криогенных процессов наблюдаются негативные последствия антропогенного воздействия (за годы активного освоения территории) в виде нарушения почвенно-растительного покрова и поверхностного переувлажнения грунтов. Для дальнейшего использования территории под строительство не рекомендуется выбирать участки с видимыми геокриологическими явлениями.

Выражается благодарность Русскому Географическому Обществу за предоставленную возможность участия в экспедиции «Восточный Бастион – Курильская гряда» 2024 года.

ЛИТЕРАТУРА

Большая российская энциклопедия (<https://bigenc.ru/c/kuril-skie-ostrova-2d6703?ysclid=m1bumlmc79920721865>).

Власов Г.М. Четвертичные оледенения Северных Курильских островов. – Геогр. сборник, X, 1958.

Горбунов А.П., Северский Э.В., Титков С.Н. Туфуры гор и равнин Казахстана // Криосфера Земли. 1999. Т. III. № 1. С. 23-30.

Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги // Ведущий редактор К.Н. Рудич. Москва: Наука, 1967. 49 с.

Официальный сайт Губернатора и правительства Сахалинской области (<https://sakhalin.gov.ru/index.php?id=18&ysclid=m13wb8msyi297186290>).

PERMAFROST PROCESSES ON THE ONEKOTAN ISLAND, KURIL ISLANDS

Zadorozhnaya N.A.

Earth Cryosphere Institute Tyumen Scientific Centre SB RAS, Tyumen, Russia

For the first time on the Onekotan Island (the Great Kuril Ridge) the cryogenic processes widespread there in open areas with strong winds were studied. Cold air flows from the Okhotsk sea contribute to formation of the mud and stony earth circles and the hummock relief which are formed due to the processes of freezing-thawing in the active layer as a result of a climatic and geological local conditions mix. Cryogenic landforms are most likely associated with the frost heaving which develops due to the predominance of finely dispersed material with high moisture in the upper sediments horizons. Based on the created map of cryogenic processes for the Onekotan Island, the approximate area occupied by the cryogenic relief was calculated, which is 86 km² or 20,2 % of the island's territory. During construction planning for the safe placement of engineering objects, it is recommended to avoid areas of the island with active seasonal cryogenic processes in order to prevent unwanted structural damage.

Keywords: *Onekotan Island, Kuril Islands, cryogenic processes, active layer, seasonal freezing, frost heaving, hummock, thufurs, stony earth circles.*

REFERENCES:

Gorbunov A. P., Seversky E. V., Titkov S. N. Thufurs of mountains and plains of Kazakhstan // Earth's Cryosphere, 1999. Vol. III. No. 1. P. 23-30.

Gorshkov G.S. Volcanism of the Kuril Island // Leading editor K.N. Rudich. - Moscow: Nauka, 1967. - 49 p.

Official website of the Governor and Government of the Sakhalin Region (<https://sakhalin.gov.ru/index.php?id=18&ysclid=m13wb8msyi297186290>).

The Great Russian Encyclopedia (<https://bigenc.ru/c/kuril-skie-ostrova-2d6703?ysclid=m1bumlmc79920721865>).

Vlasov G. M. Quaternary glaciations of the Northern Kuril Islands. – Geographical collection, X, 1958.