

УДК 911.52

А.Н. Иванов¹, А.И. Моисев², Т.И. Хисматуллин³, А.Л. Шныпарков⁴**ПОЛИСТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ЛАНДШАФТА ОСТРОВА МАТУА (ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КУРИЛЫ)**

Обсуждается понятие полиструктурности ландшафтного пространства. Объект исследований – остров Матуа с активным вулканом, отсутствием поверхностного стока и широким развитием селевых и лавинных комплексов. Представлена ландшафтная карта на территорию острова, основанная на структурно-генетических принципах. Внутри островного ландшафта выделены три географические местности – современного вулкана Пик Сарычева с преобладанием вулканических пустынь, наиболее сложно устроенная местность древнего вулкана Матуа и местность морских террас разных уровней (от 2–3 до 60–70 м). Разработана модель нуклеарной системы с ядром в виде кратера вулкана. По степени воздействия вулкана на природные комплексы выделены три зоны – сильного, среднего и умеренного влияния. Основные составляющие воздействия – лавовые и пирокластические потоки, пирокластические волны, выпадение тefры, газовые эмиссии. В составе парадинамической геосистемы, связанных однонаправленными потоками вещества и энергии, проанализированы селевые и лавинные геосистемы. Количественно оценены вещественные потоки, генерируемые вулканом, лавинами и селями. Объем двух лавовых потоков, образовавшихся при извержении 2009 г., составил около 10 млн м³. Объем пирокластических отложений оценен в 200 млн м³. Расчеты 1% обеспеченности расходов селевых потоков по 15 выделенным селевым бассейнам показали, что они могут изменяться от 5,7 до 691 м³/с, а их объем – от первых тысяч м³ до 425 тыс. м³. Суммарный объем селевых потоков 1% обеспеченности равен 1,62 млн м³. Суммарный объем снежных лавин 2% обеспеченности по 33 лавиносорам оценивается в 21,2 млн м³. Установлено, что в современный период именно вулкан является основным системообразующим фактором для большинства природных комплексов острова. Сделан вывод о том, что полиструктурность ландшафтного пространства отчетливо проявляется в пределах острова и связана с формированием на одной территории разных типов геосистем, выделение которых основано на разных физических принципах.

Ключевые слова: эндогенные процессы, нуклеарная система, лавины, сели

Введение. Идея полиструктурности ландшафтного пространства в отечественной географии впервые была высказана в 1970-х гг. На примере Латвии К.Г. Раман проанализировал особенности местных ландшафтов и высказал оригинальную мысль о возможности существования на одной территории разных типов ландшафтных структур [Раман, 1972]. Эта идея явилась своеобразной альтернативой доминировавшей в отечественном ландшафтоведении концепции литогенной основы как главного фактора формирования ландшафтного пространства и вызвала интерес ряда исследователей [Солнцев, 1974; Ретеюм, 1977; Крауклис, 1979]. В дальнейшем концепция полиструктурности обсуждалась многими отечественными географами разных ландшафтных школ [Коломыц, 1998; Михеев, 2001; Черкашин, 2005; Гродзинский, 2005; Макунина, 2010; Хорошев, 2016; Ганзей, 2020; Sysuev, 2020; Gurevskikh, Yantser, 2020]. В отечественном ландшафтоведении наиболее известен подход В.Н. Солнцева (1997), обосновавшего выделение в ландшафтном пространстве геоста-

ционарных, гециркуляционных и биоциркуляционных структур. В настоящее время понятие полиструктурности является достаточно распространенным, хотя его нельзя считать перешедшим в разряд ландшафтных парадигм. Некоторые известные ландшафтоведы критикуют идею полиструктурности как противоречащую принципу эмерджентности ландшафтных систем [Николаев, 2006; Исаченко, 2006; Мамай, 2008].

В настоящей работе понятие полиструктурности анализируется на примере островного ландшафта с действующим вулканом. Вулканические ландшафты ограниченно распространены в России и с ландшафтных позиций изучены явно недостаточно. При этом острова с четкими границами, фиксированной площадью, упрощенными связями представляют удобные модели для решения целого ряда фундаментальных задач пространственно-временной организации геосистем. Цель работы – выявление закономерностей организации ландшафтного пространства на примере островного вулканического ландшафта.

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, доцент, канд. геогр. н.; *e-mail:* a.n.ivanov@mail.ru

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, аспирант; *e-mail:* expsar@mail.ru

³ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория снежных лавин и селей, инженер; *e-mail:* timkhism@gmail.com

⁴ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория снежных лавин и селей, зав. лабораторией, канд. геогр. н.; *e-mail:* maly2006@yandex.ru

Материалы и методы исследования. Объект исследования – о. Матуа – расположен в центральной части Курильской островной гряды (его площадь 52,3 км², максимальная высота 1446 м связана с действующим вулканом Пик Сарычева). В основу работы положены материалы, собранные в ходе двух экспедиций на о. Матуа в 2016–2017 гг. Полевыми исследованиями была охвачена вся территория острова за исключением наиболее труднодоступной северо-западной части вулкана. Ландшафтное картографирование и профилирование проводилось в соответствии с принятыми методиками с учетом специфики островных и вулканических ландшафтов [Жучкова и др., 1973; Ганзей, 2010; Иванов, 2017]. Нуклеарная система острова изучалась через совокупность точек комплексного описания, расположенных на разном удалении от кратера действующего вулкана, всего было описано 62 точки. При изучении парадинамических селевых и лавинных геосистем, наряду с полевыми маршрутами, использовались расчетные методы. Для этого на основе топографической карты и цифровой модели рельефа SRTM были выделены селевые бассейны и рассчитаны их морфометрические характеристики (площадь водосбора, длина русла, средневзвешенный уклон водотока, уклон русла в расчетном створе). Оценка параметров потока на участке его наибольшего развития проводилась в соответствии с инструкцией ВСН-03-76 [Инструкция..., 1976].

Лавиносоры выделялись на основе цифровой модели рельефа SRTM с разрешением 30 м. Объем максимально возможных лавин рассчитывался с учетом коэффициента сносимости снега в соответствии с формулой [Божинский, Лосев, 1987]:

$$V = KA_h, \quad (1)$$

где V – объем лавины; A – площадь зоны зарождения; h – высота снежного покрова в зоне зарождения; K – обобщенный коэффициент сносимости снега, определяемый при расчете максимального объема из соотношения $K = (h - 0,3)/h$. Средняя мощность снежного покрова по данным Росгидромета и результатам полевых наблюдений была принята равной 2 м.

Результаты исследования и их обсуждение.

Структурно-генетический подход основан на выделении природных территориальных комплексов (ПТК), обособление которых обусловлено морфолито-генной основой. В геосистемной иерархии о. Матуа представляет ПТК ранга ландшафт, внутри которого выделяется три местности – современного вулкана Пик Сарычева, вулканических построек древнего вулкана Матуа и морских террас (рис. 1).

Местность вулкана Пик Сарычева сформирована вокруг одноименного стратовулкана и занимает около половины острова. В структуре местности абсолютно преобладают неполные ПТК без почвенно-растительного комплекса, представленные лавовыми потоками и пирокластическими отложениями. Верхняя часть местности представляет собой безжизненную вулканическую пустыню, сформированную разновозрастными лавами и отложениями

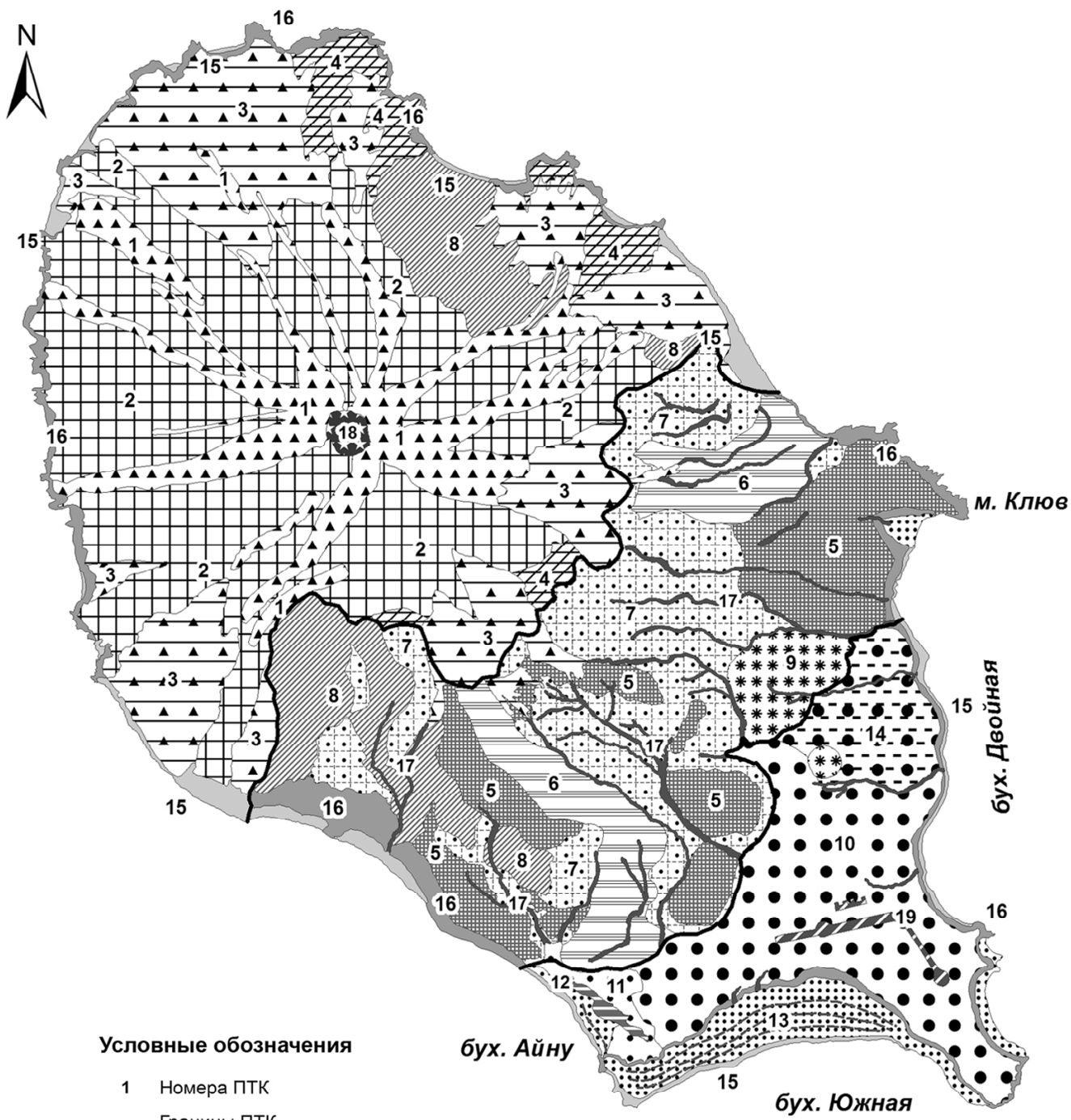
пирокластических потоков. Значительную площадь занимают снежники, часть из которых многолетние. В нижней части почвенный покров также отсутствует, но в растительном покрове начинают появляться растения-пионеры.

Местность вулканических построек древнего вулкана Матуа наиболее разнообразна по морфологической структуре. Лито-генную основу доминантных урочищ образуют фрагменты разновозрастных вулканических плато, крутые склоны кальдеры древнего вулкана, отложения лавовых и пирокластических потоков более молодых извержений. На большей части местности преобладают густые заросли ольховника, сочетающиеся с участками горных тундр и луговыми полянами. Характерно, что под разными типами растительных сообществ формируются морфологически сходные органо-аккумулятивные грубогумусовые почвы, различия проявляются лишь на уровне растительных остатков, формирующих верхние органо-генные горизонты. Аналогичная закономерность – отсутствие четкой связи между молодыми вулканическими почвами с незрелыми поверхностными органо-генными горизонтами и растительными сообществами – отмечена и для вулканических районов Камчатки [Захарихина, Литвиненко, 2014].

Местность морских террас локализована в юго-восточной части острова и состоит из нескольких групп урочищ – низких (от двух-трех до 20 м), средних (до 30 м) и высоких (до 60–70 м). Значительная часть террас высокого уровня, прилегающих к фронтальным уступам древних лавовых потоков, перекрыта конусами выноса древних и современных отложений лахаров. В растительном покрове преобладают заросли ольховника, луга и луговые тундры.

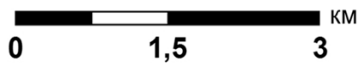
Нуклеарная система острова. Остров Матуа представляет классический образец нуклеарной системы, где ядром является активный вулкан. Предполагается, что в основе острова лежит древний вулкан Матуа. На рубеже плейстоцена и голоцена произошло сильное кальдерообразующее извержение, и внутри кальдеры образовался вулкан Пра-Сарычев, проявлявший активность в течение всего голоцена. Современный вулкан Пик Сарычева – молодой (его возраст оценивается в 450–500 лет) и очень активный. Только в XX в. было отмечено восемь или девять извержений разной силы, еще два извержения имели место в XXI в., причем извержение в 2009 г. было достаточно сильным ($VEI = 3$) [Дегтерев и др., 2011]. В современный этап развития вулкана его извержения имеют преимущественно эксплозивный характер с преобладанием пирокластических отложений андезитобазальтового состава. При извержении в 2009 г. пирокластическая колонна поднялась на высоту до 16 км и обрушилась на остров и прилегающую акваторию, увеличив площадь острова на 1,1 км².

На современном этапе выделяется шесть основных составляющих воздействия вулкана на островной ландшафт – лавовые и пирокластические



Условные обозначения

- 1 Номера ПТК
- Границы ПТК
- Границы местностей
- Береговые валы
- *** Кратер действующего вулкана
- /// Техногенные комплексы



ПТК вулканических пустынь

- ▲▲▲▲ 1
- 2
- ▲▲ 3
- /// 4

ПТК плейстоценовых вулканических построек

- 5
- ▬ 6
- 7
- ▨ 8
- *** 9

ПТК морских террас

- 10
- 11
- ▬ 12
- ▨ 13
- 14

Береговые ПТК

- 15
- 16
- 17

ПТК флювиально-селевой сети

- 17

потоки, пирокластические волны, лахары, выпадение тефры, газовые эмиссии [Иванов и др., 2017]. По степени влияния вулкана на природные геосистемы выделено три зоны (рис. 2). Границы между зонами проведены по качественным изменениям влияния вулкана: рубеж между зонами I и II проходит по границе сплошного распространения пирокластических потоков и отложений, между зонами II и III – по границе распространения пирокластических волн [Дегтерев, 2013]. Подзоны выделены по соотношению основных составляющих воздействия вулкана.

В зоне сильного влияния (зона I) происходит полное изменение литогенной основы. Влияние вулкана здесь абсолютно доминирует над зональными факторами. Характер развития геосистем здесь можно определить как импульсный по схеме «катастрофическая смена – восстановление – катастрофическая смена» с периодом в первые десятки лет. В ландшафтной структуре в настоящее время пре-

обладают вулканические пустыни без почвенно-растительного комплекса.

В зоне среднего влияния (зона II) на литогенную основу оказывают влияние отдельные языки пирокластических потоков во время сильных извержений, выпадение тефры и транзит лахаров по долинообразным понижениям. Пирокластические волны могут уничтожать растительный покров, но без изменения литогенной основы. Вулканизм по-прежнему доминирует над зональными факторами, однако если имеются продолжительные перерывы между извержениями, восстановление геосистем может дойти до зонально-островного типа растительного покрова (ольховники, луга, тундры). Почвы слаборазвиты, обычно сформирован только верхний маломощный органогенный горизонт, который сменяется гравелисто-щебнистой тефрой.

В зоне умеренного влияния (зона III) изменение литогенной основы происходит за счет выпадения тефры во время сильных извержений и аккумуляции кону-

Рис. 1. Ландшафтная карта о. Матуа. ПТК вулканических пустынь: 1 – лавовые потоки, выраженные в рельефе, без почвенно-растительного покрова; 2 – крутые склоны, сложенные переслаивающимися лавами и пирокластическими отложениями, без почвенно-растительного покрова; 3 – участки аккумуляции пирокластических отложений без почвенно-растительного покрова; 4 – склоны вулкана различной крутизны, сложенные переслаивающимися лавами и пирокластикой, под разреженными разнотравно-злаковыми лугами. ПТК плейстоценовых вулканических построек: 5 – выположенные поверхности лавовых потоков под ольховниками с участками разнотравно-злаковых лугов и луго-тундр на грубогумусовых почвах; 6 – крупные лавовые потоки и системы потоков под ольховниками в сочетании с луго-тундрами на литоземах и грубогумусовых почвах; 7 – склоны древних вулканических построек различной крутизны, расчлененные флювиально-селевыми долинами, под ольховниками и участками луго-тундр на грубогумусовых и мелкоторфянистых почвах; 8 – крутые и очень крутые склоны, густо расчлененные лавинными и селевыми лотками, под ольховниками и разреженными разнотравно-злаковыми лугами на петроземах; 9 – обособленные вулканические центры с пологоволнистыми или куполообразными вершинами и крутыми склонами под ольховниками на грубогумусовых почвах. ПТК морских террас: 10 – террасы высокого уровня (25–50 м), субгоризонтальные, сложенные галечниками и песками на цоколе вулканических пород, на значительной площади перекрытые древними и современными отложениями лахаров, под ольховниками, разнотравно-злаковыми лугами и луго-тундрами на грубогумусовых почвах; 11 – террасы среднего уровня (10–25 м), пологонаклонные к морю, сложенные галечниками и песками, под злаковыми лугами с фрагментами верещатниковых тундр и ольховников на грубогумусовых почвах; 12 – эрозионно-суффозионная ложбина в зоне разгрузки грунтовых вод под осоково-ситниковыми сообществами на торфяных эвтрофных слоисто-пепловых почвах; 13 – террасы низкого уровня (2–10 м), ступенчатые, сложенные песками с прослоями цунамигенных осадков и тефры, существенно переработанные цунами, под разнотравно-злаковыми лугами на псаммоземах гумусовых; 14 – поверхности проблематичного генезиса (50–80 м), слабонаклоненные, перекрытые мощным почвенно-пирокластическим чехлом, под ольховниками на грубогумусовых почвах. Береговые ПТК: 15 – пляжи песчано-галечниковые без почвенно-растительного комплекса и галечниково-валунные с фрагментами низкой морской террасы; 16 – абразионно-денудационные склоны, крутые и очень крутые, с выходами коренных пород, под лугами с участками ольховников на грубогумусовых почвах или без почвенно-растительного покрова. ПТК флювиально-селевой сети: 17 – долинообразные понижения различной формы под ольховниками на слаборазвитых слоистых почвах

Fig. 1. Landscape map of the Matua Island. Volcanic deserts: 1 – Lava flows, marked in relief, without soil and vegetation cover; 2 – Steep slopes composed of interstratified lavas and pyroclastic deposits, without soil and vegetation cover; 3 – Areas of accumulation of pyroclastic deposits without soil and vegetation cover; 4 – Volcano's slopes of different steepness, composed of interstratified lavas and pyroclastics, under sparse herb-grass meadows. Pleistocene volcanic structures: 5 – Flattened surfaces of lava flows under dwarf alder forests with areas of forb-grass meadows and meadow-tundra on coarse-humus soils; 6 – Major lava flows and flow networks under dwarf alder forests in combination with meadow-tundra on lithozems and coarse-humus soils; 7 – Slopes of ancient volcanic structures of varying steepness, dissected by fluvial-debris-flow gulleys, under dwarf alder forests and areas of meadow-tundra on coarse humus and small peat soils; 8 – Steep and very steep slopes, densely dissected by avalanche and debris flow cuts, under dwarf alder forests and sparse forb-grass meadows on petrozems; 9 – Isolated volcanic centers with gently undulated or domed peaks and steep slopes under dwarf alder forests on coarse humus soils. Marine terraces: 10 – High-level terraces (25–50 m), sub-horizontal, composed of pebbles and sands on a basement of volcanic rocks, overlapped over a large area by ancient and modern deposits of lahars, under dwarf alder forests, forb-grass meadows and meadow-tundras on coarse humus soils; 11 – Middle-level terraces (10–25 m), gently sloping to the sea, composed of pebbles and sands, under grass meadows with fragments of heather tundra and dwarf alder forests on coarse humus soils; 12 – Erosion-suffosion gully in the groundwater discharge zone under sedge-sitnik communities on peat eutrophic layered ash soils; 13 – Low-level terraces (2–10 m), stepped, composed of sands with interlayers of tsunamigenic sediments and tephra, significantly transformed by the tsunami, under forb-grass meadows on humus psammozems; 14 – Areas of questionable genesis (50–80 m), slightly sloping, covered with thick soil-pyroclastic cover, under dwarf alder forests on coarse humus soils. Marine coast: 15 – Sandy-pebble beaches without soil-vegetation complex and pebble-boulder beaches with fragments of a low sea terrace; 16 – Abrasion-denudation slopes, steep and very steep, with outcrops of bedrock, under meadows with areas of dwarf alder forests on coarse-humus soils or without soil and vegetation cover. Fluvial-debris-flow network: 17 – Valley-shaped depressions of various shapes under dwarf alder forests on underdeveloped layered soils

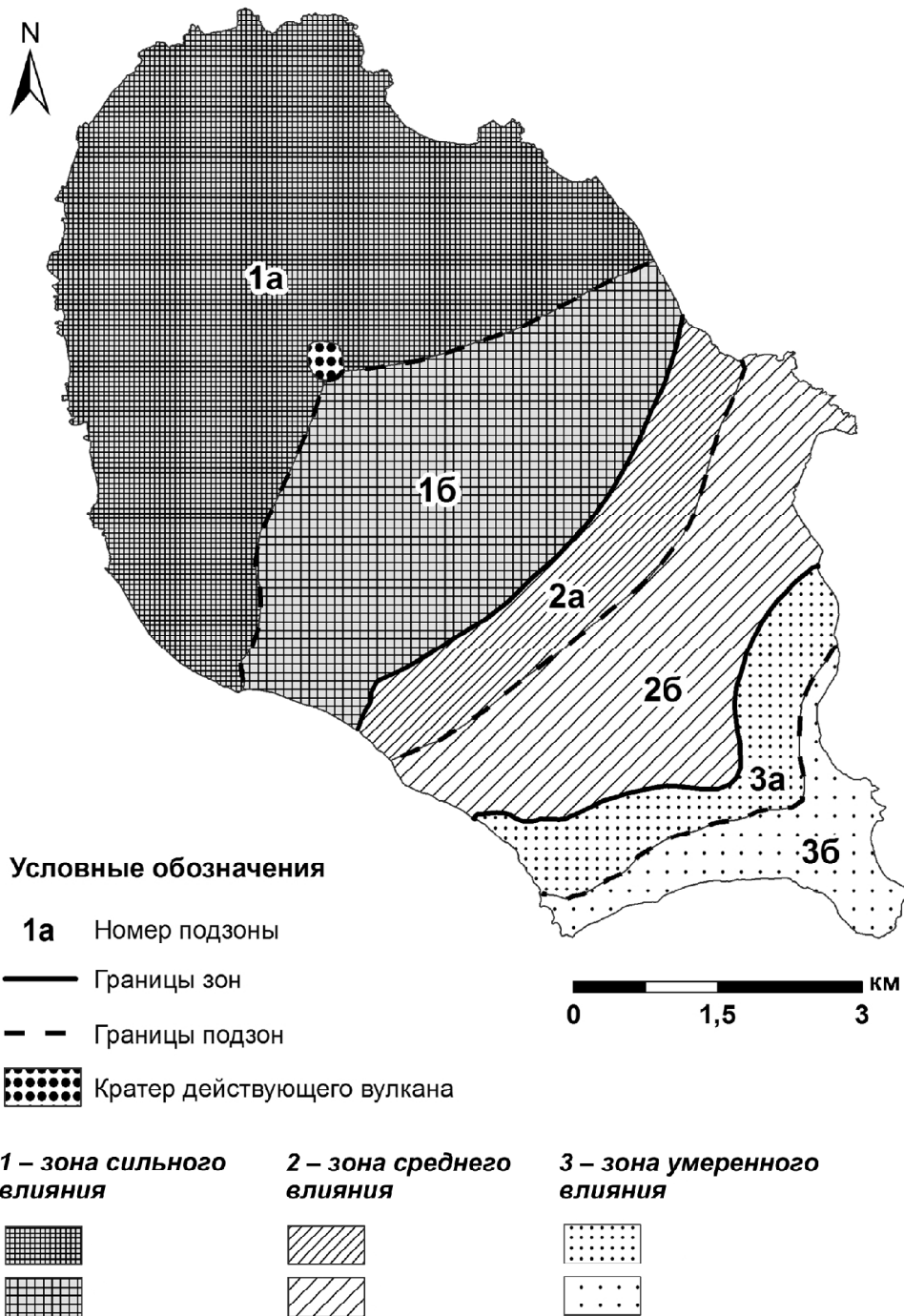


Рис. 2. Нуклеарная система о. Матуа: 1 – зона сильного влияния с лавовыми и пирокластическими потоками, выпадением тephры любой размерности, газовыми эмиссиями вулкана: 1а – вулканические пустыни без почвенно-растительного комплекса; 1б – вулканические пустыни без современных лавовых потоков с фрагментами пионерных растительных сообществ; 2 – зона среднего влияния с пирокластическими волнами, отдельными языками пирокластических потоков, выпадением тephры, лахаров: 2а – языки пирокластических потоков и отдельные тундровые, луговые, стланиковые сообщества; 2б – лавовые плато древнего вулкана и крутые склоны под ольховниками; 3 – зона умеренного влияния с выпадением тephры и конусами выноса лахаров: 3а – морские террасы высокого уровня с наложенными конусами выноса лахаров под ольховниками; 3б – морские террасы разных уровней в зоне выпадения мелкой тephры под лугами, луго-тундрами, ольховниками

Fig. 2. Nuclear system of the Matua Island: 1 – zone of strong influence with lava and pyroclastic flows, tephra fallout of various dimensions, and gas emissions from the volcano: 1a – volcanic deserts without soil and vegetation complex; 1b – volcanic deserts without modern lava flows with fragments of pioneer plant communities; 2 – zone of medium influence with pyroclastic waves, separate tongues of pyroclastic flows, tephra fallout and lahars: 2a – fragments of pyroclastic flows and fragments of tundra, meadow, elfin wood communities; 2b – lava plateaus of an ancient volcano and steep slopes under elfin wood of alder; 3 – zone of moderate influence with tephra fallout and lahars' detrital fans: 3a – high-level marine terraces with superimposed lahars under elfin wood of alder; 3b – marine terraces of different levels in the zone of fine tephra fallout under meadows, meadow-tundras and elfin woods

сов выноса лахаров. Характер развития можно определить как импульсно-эволюционный, при котором влияние вулкана и зональные факторы имеют примерно одинаковый вес. Зонально-островная растительность преобладает, в почвенном покрове формируются органо-аккумулятивные грубогумусовые почвы.

Ход развития абсолютного большинства природных комплексов на острове определяется вулканом Пик Сарычева, зона влияния которого охватывает весь остров и прилегающую акваторию. Одним из природных объектов на острове, который помогает восстановить ход развития геосистем в зоне влияния вулкана, является почвенно-пирокластический чехол (ППЧ), который можно анализировать и как продукт вулканизма, и с точки зрения почвообразования. Почвенный профиль на острове является полигенетическим, в средней части почвенного разреза вскрываются почвы морфологически близкие к подбурам, которые можно считать зональ-

но-островными, соответствующими климатическим условиям и растительности. Однако в верхней части разреза эти палеопочвы перекрыты современными, относящимися к отделу органо-аккумулятивных (преимущественно грубогумусовых). Современные почвы о. Матуа не успевают сформироваться до стадии подбуров, этому препятствует сверхактивный вулкан Пик Сарычева, который permanently прерывает процессы почвообразования, перекрывая почвенные горизонты все новыми порциями тефры. В то же время в нижней части разреза вскрываются почвы, морфологически близкие к вулканическим охристым, характерным для Камчатки. По всей видимости, эти почвы формировались в совсем других природно-климатических условиях.

Парадинамические геосистемы. Другим типом ГС, обычно выделяемым при анализе полиструктурности ландшафтного пространства, являются парадинамические ГС, обособление которых свя-

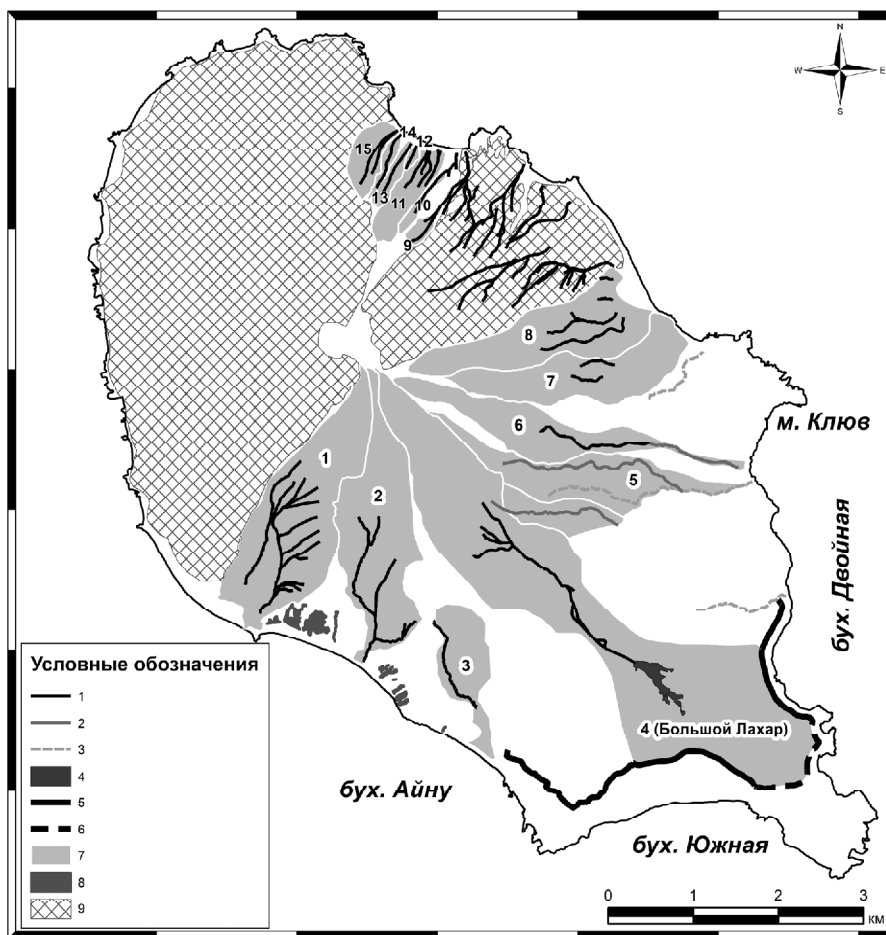


Рис. 3. Карта проявления селевых процессов на о. Матуа. Селевые русла: 1 – постоянно селеопасные; 2 – селеопасные при извержениях вулкана; 3 – реликтовые; 4 – конус выноса Большого Лахара 2009 г. Древние границы аккумуляции селей: 5 – подтверждаемые отложениями и рельефом; 6 – предполагаемые. Селевые бассейны: 7 – морфологически выраженные; 8 – мелкие бассейны на абразионно-денудационных склонах; 9 – область преимущественной аккумуляции лавовых и пирокластических потоков

Fig. 3. Debris flow map of the Matua Island. Debris flow channels: 1 – permanently dangerous; 2 – dangerous in case of volcanic eruption; 3 – relict; 4 – the Big Lahar fan (2009). Ancient borders of debris flows accumulation: 5 – confirmed by sediments and relief; 6 – supposed. Debris flow catchments: 7 – morphologically pronounced; 8 – small catchments on abrasion-denudation slopes; 9 – accumulation area of primary lava and pyroclastic flows

зано с латеральными вещественно-энергетическими потоками. В подавляющем большинстве случаев в качестве подобных образований рассматриваются бассейновые ландшафтно-гидрологические геосистемы. Однако на о. Матуа поверхностный сток отсутствует, несмотря на 1278 мм годовой суммы осадков: практически все осадки фильтруются через рыхлые пирокластические отложения. Вместе с тем большое значение приобретают селевые и лавинные геосистемы.

Селевые геосистемы получили весьма широкое развитие на острове, чему способствуют климатические и геолого-геоморфологические особенности о. Матуа. Селевые потоки формируются главным образом в результате выпадения интенсивных ливней. В весенний период и в периоды глубоких длительных оттепелей возможно формирование водоснежных потоков. Наличие вулканической деятельности обуславливает также образование специфического типа селевых потоков – лахаров. Их образование связано с извержением вулканов в зимне-весенний период, когда склоны вулкана покрыты глубоким снежным покровом. По соотношению водной и твердой составляющих селевые потоки относятся к грязекаменным. Преобладающим механизмом формирования является сдвигово-эрозионный.

Всего на о. Матуа отмечено 15 морфологических выраженных селевых бассейнов (рис. 3). Среди них выделяется селевой бассейн «Большой лахар», где максимальный расход селевого потока 1% обеспеченности достигает почти 700 м³/с, а общий объем селевого потока 1% обеспеченности (совместно твердая и жидкая фазы) – 425,5 тыс. м³. На основе расчетов, проведенных в соответствии с инструкцией ВСН 03-1976 [Инструкция..., 1976], по 15 бас-

сейнам суммарный объем селевых потоков 1% обеспеченности (совместно твердая и жидкая фазы) получился равным 1,62 млн м³ (табл.).

Лавинные геосистемы. Основными факторами лавинообразования на о. Матуа являются длительная и многоснежная зима с метелями и оттепелями, а также значительное эрозионное расчленение. Сходы лавин наиболее часты в декабре–феврале. В основном это лавины из мокрого метелевого сложно стратифицированного снега. Лавиноопасные участки о. Матуа делятся на три типа:

а) вулканический конус Пик Сарычева с густой сетью мощных и среднемошных лавин. Режим схода – зимне-весенний. Преобладают лавины, связанные с обильными снегопадами, метелями и зимними оттепелями;

б) средневысотный (до 1000–1100 м) вулканический горный рельеф. Высота снежного покрова здесь достигает 4 м и более в отрицательных формах рельефа. Характерна густая сеть мощных лотковых лавин и осовов. Режим схода лавин – зимне-весенний. Преобладают лавины, связанные с метелями, обильными снегопадами, зимними оттепелями и обрушением снежных карнизов;

в) абразионные морские берега. Распространены снежные осовы – разновидность лавин, возникающих при отрыве и скольжении снежных масс на ровном склоне, не изрезанном отрицательными формами рельефа. Образование снежных осовов в прибрежной зоне на участках с отмершими клифами может происходить в течение зимы несколько раз и связано в основном с метелями.

Всего на о. Матуа выделено 33 лавиносбора (рис. 4). Максимальные объемы лавин обеспеченностью 2% в разных лавиносборах варьируют

Т а б л и ц а

Расчетные параметры селевых потоков 1% обеспеченности

Селевой бассейн	Q_c , м ³ /с	$W_{c1\%}$, м ³	$W_{т1\%}$, м ³	V_{sel} , м/с	h_{cp} , м	h_{max} , м	B_y , м
1	501,9	285 518	173 880	6,6	3,7	5,5	19,8
2	432,8	279 711	168 107	5,9	3,3	5,0	20,8
3	83,2	51 239	29 616	3,8	1,7	2,5	12,1
4 (Большой Лахар)	691,3	425 466	244 643	5,2	4,0	5,9	30,5
5	163,5	104 962	58 044	3,8	2,1	3,2	18,3
6	238,6	146 251	84 240	4,0	2,6	3,9	20,9
7	204,5	123 879	72 469	5,4	2,5	3,7	14,9
8	222,4	127 252	77 369	5,9	2,7	4,0	13,8
9	17,3	8 938	5 631	3,6	1,0	1,5	4,6
10	10,9	5 603	3 530	3,3	0,8	1,3	3,7
11	59,8	5 697	1 595	4,7	1,7	2,5	7,4
12	5,7	2 867	1 821	3,0	0,7	1,0	2,8
13	22,0	11 312	7 161	3,7	1,1	1,7	5,0
14	15,3	7 835	4 960	3,6	1,0	1,5	4,2
15	62,9	32 477	20 460	5,0	1,7	2,6	7,2

Примечание: Q_c – максимальный расход селевого потока 1% обеспеченности, м³/с; $W_{c1\%}$ – объем селевого потока (твердая и жидкая фазы) 1% обеспеченности, м³; $W_{т1\%}$ – объем выноса твердых материалов (в плотном теле) за расчетную волну селевого потока 1% обеспеченности, м³; V_{sel} – скорость селевого потока, м/с; h_{cp} – средняя глубина селевого потока, м; h_{max} – максимальная глубина селевого потока, м; B_y – ширина селевого потока.

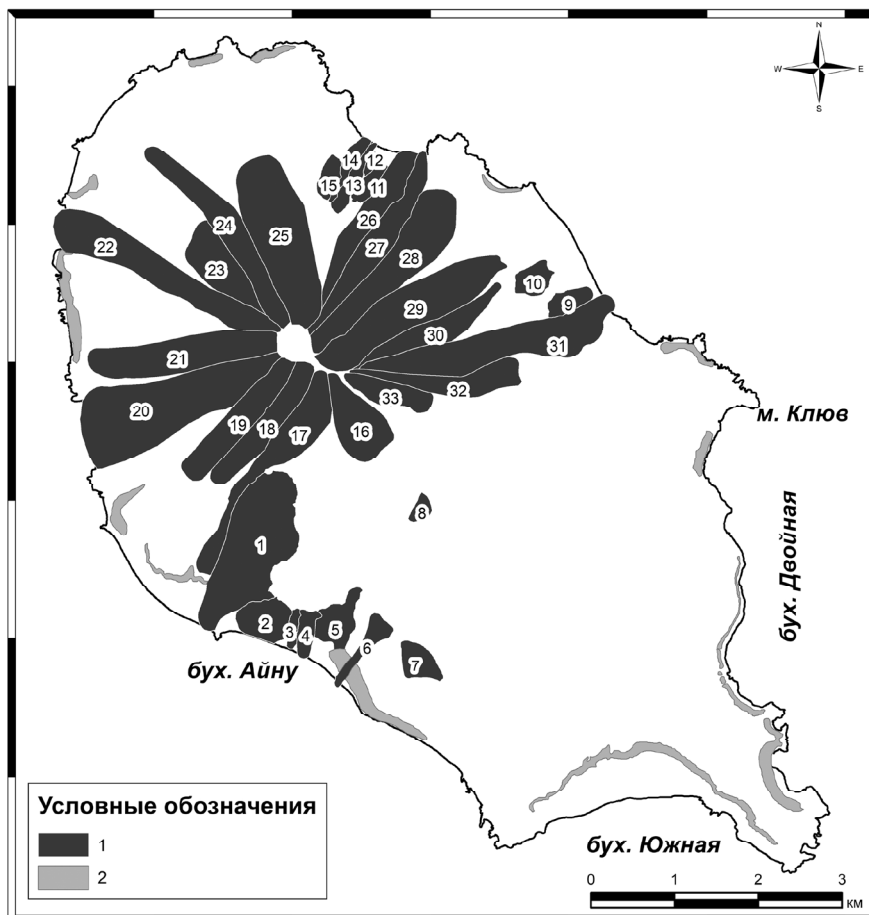


Рис. 4. Карта проявления лавинных процессов на о. Матуа: 1 – лавиносборы (преимущественно лотковые) вулканического конуса и горного рельефа; 2 – абразионные берега и уступы с распространением осовов

Fig. 4. Snow avalanche map of the Matua Island: 1 – avalanche paths (mainly gulleys) of the volcanic cone and mountainous relief area; 2 – abrasion coasts and benches with slab avalanche occurrence

от 2,16 млн м³ до 34 тыс. м³. Суммарная оценка по всем 33 лавиносборам дала результат 21,2 млн м³ (в расчеты не вошли осовы на береговых уступах).

На рис. 5 представлены объемы вещественных потоков, генерируемые разными источниками (при извержении вулкана в 2009 г., а также селевыми потоками и снежными лавинами). Сведения об объемах лавовых и пирокластических отложений и методика расчетов взяты из работы [Гришин и др., 2010]. Объем двух лавовых потоков, образовавшихся при извержении в 2009 г., составил около 10 млн м³ и подтвердился нашими полевыми исследованиями. Объем пирокластических отложений оценить сложнее, в литературе имеющиеся оценки расходятся в два раза [Гришин и др., 2010], с учетом наших полевых исследований для объема извергнутой тefры была принята нижняя оценка в 200 млн м³.

Тем не менее, как следует из представленных данных, объемы пирокластических отложений на порядок превосходят остальные вещественные потоки, что подтверждает ведущую роль вулкана Сарычева как главного ландшафтообразующего фактора для абсолютного большинства природных ком-

плексов острова. Излияния лав на современном этапе развития вулкана имеют подчиненное значение. Влияние лавинных систем на другие природные комплексы незначительно, несмотря на сравнительно большие объемы лавин. Относительно небольшой объем селевых потоков на диаграмме обусловлен тем, что для расчетов использовались показатели только для селей дождевого происхождения, для лахаров цифра, вероятно, будет на порядок выше, и их воздействие на природные комплексы острова значительно сильнее.

Беллигеративные комплексы. Во время Второй мировой войны на о. Матуа была создана крупная японская военно-воздушная база. В отдельные периоды на острове дислоцировалось более 7,5 тыс. японских военнослужащих. На морских террасах высокого уровня был построен аэродром, ангары для самолетов и тяжелой техники, командные пункты. Система обороны острова связана с несколькими ключевыми укрепленными районами в местах предполагаемой высадки десанта, имеющими внутреннее и внешнее сообщение с наземной и подземной инфраструктурой. В пределах укрепрайонов выстроена густая сеть траншей и ходов сообщения, про-

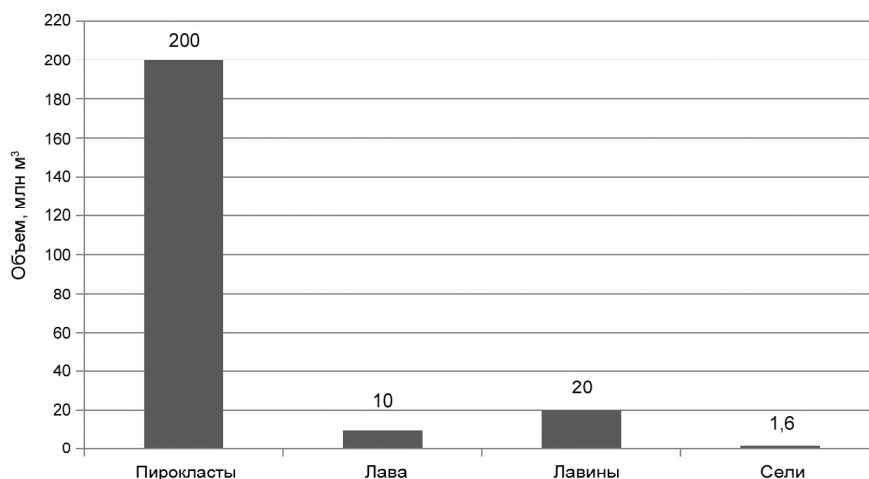


Рис. 5. Объемы вещественных потоков, генерируемых разными источниками, млн м³

Fig. 5. Volumes of material flows generated by different sources, mln m³

тивотанковых рвов, дотов, бетонных бункеров, блиндажей, капониров и т. п. Сеть наземных траншей, ходов сообщения, складов и других объектов во многих случаях проецировалась под землю, где находятся объекты, соединенные вертикальными шахтами с наземными.

Расположение объектов военной инфраструктуры тесно связано с ландшафтно-геоморфологической структурой островной суши, что подчеркивает ведущую роль рельефа в организации ПТК [Пузаченко и др., 1997]. Преобладающая часть фортификационных сооружений расположена в равнинной местности морских террас, где густота окопов и ходов сообщения (глубиной до 1,5 м) и противотанковых рвов (до 5 м глубиной) превосходит 20 км/км². Морские террасы перекрыты мощной толщей пирокластике, поэтому здесь проводились масштабные земляные работы. Напротив, постройки древнего вулкана Матуа с близким залеганием твердых вулканических лав отличаются высокой концентрацией подземных объектов военной инфраструктуры. К береговой зоне приурочено наибольшее количество дотов, укрытий для береговой артиллерии, пунктов технического и визуального наблюдения. Наибольшая плотность объектов военной инфраструктуры наблюдается на участках возможной высадки десанта (бухты Южная, Айну, Двойная, мыс Ключ). К господствующим высотам были приурочены огневые позиции, к долинообразным понижениям с широкими днищами – места расположения складов.

В результате сосредоточения защитных сооружений в местности морских террас эти территории исключительно насыщены бelligеративными комплексами, которые заметно воздействуют на природные комплексы. Густая сеть окопов и рвов на морских террасах играет роль своеобразной дренажной системы, которая усиливает провальный режим фильтрации атмосферных осадков через рыхлые пирокластические отложения. Как следствие на-

блюдается смена гигротопов от влажных сырых до свежих сухих. В структуре почвенного покрова значительное участие принимают техногенно нарушенные почвы. В растительном покрове террас преобладают обедненные злаковые и разнотравно-злаковые луга, а также луговые тундры. Видовое разнообразие фитоценозов возрастает только в пределах малонарушенных природных комплексов, где появляются виды из семейства норичниковых, орхидных и др.

Относительно небольшие размеры острова привели к необычайной насыщенности территории объектами полевой и военной инфраструктуры, многие из которых, как наземные, так и подземные, сохранились на острове к нашему времени. Сформировавшийся таким образом ландшафт с активным современным вулканом, имеющий в основе вулканическое происхождение, но структура которого значительно изменена фортификационными сооружениями и другими «милитаригенными» объектами, оказывающими значительное влияние на структуру и функционирование природных комплексов, предложено называть бelligеративно-вулканическим [Иванов, 2017]. В научной литературе подобные ландшафты (в региональном структурно-генетическом понимании термина «ландшафт») не описаны, поэтому его можно считать уникальным для России и эндемичным для Курильского архипелага.

Подводя итог, необходимо отметить, что представленные модели, удобные для решения тех или иных задач, отражают разные грани природы о. Матуа. Принципиальным обстоятельством является то, что все они имеют разную физическую основу. Традиционная ландшафтная карта, разработанная на базе структурно-генетических принципов, где ведущим фактором выступает литогенная основа, понятна всем ландшафтоведам, позволяет провести качественный и количественный анализ морфологической структуры, использовать сравнительно-географи-

ческий метод, сопоставляя разные ландшафты между собой. Модель ядерной системы удобна для иллюстрации особенностей развития природных комплексов в зависимости от главного системообразующего фактора – воздействия вулкана. Модели селевых и лавинных геосистем позволяют провести количественную оценку вещественных потоков и оценить распространение опасных природных явлений.

Представленные модели не исчерпывают всего разнообразия геосистем, формирующихся в ландшафтном пространстве. А.Ю. Ретеюм (1977) выделил 15 разновидностей природных систем (геоитов 4 порядка), которые могут формироваться под влиянием разных факторов вблизи земной поверхности. Примером другого типа геосистем является орнитогенная геосистема острова-сателлита Топорковый, расположенного в 1 км от о. Матуа. На острове имеется крупная многовековая колония морских птиц численностью около 150 тыс. особей. При отсутствии наземных хищников и человека гнездовья морских колониальных птиц (в основном это глупыши, топорки и тихоокеанские чайки) полностью занимают береговые склоны, а через геохимический прессинг оказывают влияние на вершинную поверхность острова и выступают системообразующим фактором в структурно-функциональной организации островной геосистемы в целом, изменяя практически все природные компоненты и межкомпонентные отношения (на острове сформирован особый орнитогенный микрорельеф и состав верхней части отложений, почвенно-растительный покров,

специфический химический состав поверхностных и грунтовых вод, своеобразный биогеохимический круговорот и т. п.) [Иванов, Авессаломова, 2008].

Заключение. Полиструктурность ландшафтного пространства существует в природе и отчетливо проявляется в пределах о. Матуа. На острове выделяется несколько типов природных объектов, попадающих под определение геосистемы как пространственно-временной системы природных компонентов, взаимообусловленных в своем размещении и развивающихся как единое целое. Специфика островного вулканического ландшафта – наличие ярко выраженного ядра в виде активного вулкана и отсутствие бассейновых геосистем в связи с небольшими размерами острова и отсутствием поверхностного стока. Вместе с тем в этих условиях большее значение приобретают селевые и лавинные геосистемы, объемы связанных с ними вещественных потоков достигают десятков миллионов кубических метров. Однако ведущую роль на современном этапе развития островного ландшафта играет вулкан Пик Сарычева и генерируемые им пирокластические отложения, объем которых (сотни миллионов кубических метров) на порядок превосходит другие структурообразующие вещественные потоки. Беллигеративные комплексы, широко представленные на острове, накладываются на исходную вулканическую основу и формируют уникальный беллигеративно-вулканический ландшафт, не имеющий аналогов в России и эндемичный для Курильских островов.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы «Факторы и процессы пространственно-временной организации природных и антропогенных ландшафтов» (госбюджет).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Божинский А.Н., Лосев К.С.* Основы лавиноведения. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 280 с.
- Ганзей К.С.* Ландшафты и физико-географическое районирование Курильских островов. Владивосток: Дальнаука, 2010. 214 с.
- Ганзей К.С.* Полиструктурность и полигенетичность островных геосистем // Тихоокеанская география. 2020. № 1. С. 21–29.
- Гришин С.Ю., Гирина О.А., Верецага Е.М., Витер И.В.* Мощное извержение вулкана Пик Сарычева (Курильские острова, 2009 г.) и его воздействие на растительный покров // Вестник ДВО РАН. 2010. № 3. С. 40–50.
- Гродзинский М.Д.* Пізнання ландшафту: місце і простір. Київ: Изд-во Київск. ун-та, 2005. Т. 1. 431 с. Т. 2. 503 с.
- Дегтерев А.В.* История эруптивной деятельности вулкана Пик Сарычева в голоцене (о. Матуа, Центральные Курильские острова): автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Владивосток, 2013. 27 с.
- Дегтерев А.В., Рыбин А.В., Разжигаяева Н.Г.* Исторические извержения вулкана Пик Сарычева (о. Матуа, Центральные Курильские острова) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2011. № 1. С. 102–119.
- Жучкова В.К., Зонов Ю.Б., Горяченков В.А.* Методические приемы ландшафтных исследований вулканических районов Камчатки // Ландшафтный сборник. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. С. 117–137.
- Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С.* Генетические и геохимические особенности почв Камчатки. М.: Наука, 2011. 245 с.
- Иванов А.Н.* Особенности ландшафтной структуры острова Матуа (Центральные Курилы) // Известия Русск. Геогр. общества. 2017. Т. 149. № 5. С. 26–35.
- Иванов А.Н., Беляев Ю.Р., Дегтерев А.В., Луговой Н.Н., Рыбин А.В., Хисматуллин Т.И.* Опасные природные процессы на острове Матуа (Центральные Курилы) // Геориск. 2017. № 4. С. 28–38.
- Иванов А.Н., Авессаломова И.А.* Ландшафтно-геохимические особенности орнитогенных геосистем Ямских островов (Охотское море) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2008. № 2. С. 35–42.
- Инструкция по определению расчетных характеристик дождевых селей ВСН 03-76. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 30 с.
- Исаченко А.Г.* Ландшафтоведение на переходе ко второму столетию своей истории // Ландшафтоведение: теория, методы, региональные исследования, практика: мат-лы XI Межд. ландш. конференции. М.: Географич. ф-т МГУ, 2006. С. 3–8.
- Коломыц Э.Г.* Полиморфизм ландшафтно-зональных систем. Пушино: ОНТИ ПИЦ РАН, 1998. 311 с.

Крауклис А.А. Проблемы экспериментального ландшафтоведения. Новосибирск: Наука, 1979. 232 с.

Макушина Г.С. Три составляющих системной организации ландшафта в концепциях Ф.И. Козловского, А.А. Крауклиса, В.Н. Солнцева // *География и природные ресурсы*. 2010. № 1. С. 18–23.

Мамай И.И. Отечественное ландшафтоведение: история, современное состояние, направления поиска // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр.* 2008. № 1. С. 3–12.

Михеев В.С. Ландшафтный синтез географических знаний. Новосибирск: Наука, 2001. 216 с.

Николаев В.А. Ландшафтоведение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. 208 с.

Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н., Иванов А.Н. Анализ иерархической структуры рельефа как основы организации природно-территориального комплекса // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр.* 1997. № 1. С. 3–9.

Раман К.Г. Пространственная полиструктурность типологических геокомплексов и опыт ее выявления в условиях Латвийской ССР. Рига: ЛГУ им. Петра Стучки, 1972. 48 с.

Ретеюм А.Ю. О факторах и формах упорядоченности пространства оболочки Земли // *Вопросы географии*. Сб. 104. Системные исследования природы. М.: Мысль, 1977. С. 84–94.

Солнцев В.Н. Структурное ландшафтоведение: основы концепции // Структура, функционирование, эволюция природных и антропогенных ландшафтов: тезисы X Ландш. конф-ции. М.; СПб., 1997. С. 11–14.

Солнцев В.Н. О некоторых фундаментальных свойствах геосистемной структуры // *Методы комплексных исследований природы*. Иркутск: Ин-т географии Сибири и Дальнего Востока, 1974. С. 26–36.

Хорошеев А.В. Полимасштабная организация географического ландшафта. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. 416 с.

Черкашин А.К. Полисистемное моделирование. Новосибирск: Наука, 2005. 280 с.

Gurevskikh O.Y., Yantser O.V. Seasonal Dynamics in the Context of Polystructural Organization of Landscapes, *Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales*, A.V. Khoroshev, K.N. Dyakonov (eds.), Springer International Publishing, Nature Switzerland AG, 2020, p. 273–285, DOI: 10.1007/978-3-030-31185-8.

Sysuev V.V. Multipattern (Polystructural) Organization of a Landscape: Geophysical Approach, *Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales*, A.V. Khoroshev, K.N. Dyakonov (eds.), Springer International Publishing, Nature Switzerland AG, p. 41–54, DOI: 10.1007/978-3-030-31185-8.

Поступила в редакцию 01.10.2020

После доработки 10.12.2020

Принята к публикации 21.01.2021

**A.N. Ivanov¹, A.I. Moiseev²,
T.I. Khismatullin³, A.L. Shnyarkov⁴**

POLYSTRUCTURAL ORGANISATION OF VOLCANIC LANDSCAPES ON THE MATUA ISLAND (CENTRAL KURILS)

The concept of polystructurality of the landscape space is discussed. The object of research is the Matua Island with an active volcano, absence of surface run-off and widespread development of debris-flow and avalanche complexes. Landscape map of the island's territory is presented, based on structural and genetic principles. Three geographic localities are identified within the island's landscape, namely that of the modern Peak Sarychev volcano with predominance of volcanic deserts, that of the ancient Matua volcano (the most complex one) and that of marine terraces of different levels (from 2–3 to 60–70 m). A model of the nuclear system with a core within the volcano crater has been developed. According to the degree of volcano's influence on natural complexes three zones have been identified, i.e. strong, medium and moderate. The main components of volcano's impact are lava and pyroclastic flows, pyroclastic waves, tephra fallout, and gas emissions. Debris-flow and avalanche geosystems have been identified and analyzed within the paradyamic geosystems interlinked by homodromous flows of matter and energy. The material flows generated by the volcano, avalanches and debris flows were quantified. The volume of two lava flows formed during the 2009 eruption was about 10 million m³. The volume of pyroclastic deposits is estimated at 200 million m³. Calculations of debris flows of 1% probability for 15 particular debris flow catchments revealed that they can vary from 5,7 to 691 m³/s and from the first thousands to 425 thousand m³ in volume. The total volume of debris flows of 1% probability is 1,62 million m³. The total volume of 2% probability snow avalanches for 33 catchments is estimated at 21,2 million m³. It was found that in the modern period the volcano is the main system-forming factor for the majority of natural complexes of the island. It is concluded that the polystructural nature of the landscape space is clearly manifested within the island and comes from the formation of different types of geosystems, based on different physical principles, within one and the same territory.

Key words: endogenetic processes, nuclear system, snow avalanches, debris flows

Acknowledgements. The work was done under the state-financed theme "Factors and processes of spatial-temporal organization of natural and anthropogenic landscapes"

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science, Associate Professor, PhD in Geography; *e-mail:* a.n.ivanov@mail.ru.

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science, graduate student; *e-mail:* expsar@mail.ru.

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows, Engineer; *e-mail:* timkhism@gmail.com.

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows, Leading Scientific Researcher, PhD in Geography; *e-mail:* maly2006@yandex.ru.

REFERENCES

- Bozhinskiy A.N., Losev K.S. Osnovy lavinovedeniya* [Foundations of avalanche science], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1987, 280 p. (In Russian)
- Cherkashin A.K. Polisistemnoe modelirovanie* [Polysystem modeling], Novosibirsk, Nauka Publ., 2005, 280 p. (In Russian)
- Degterev A.V. Istorija eruptivnoj dejatel'nosti vulkana pik Sarycheva v golocene (o. Matua, Central'nye Kuril'skie ostrova)* [The history of eruptive activity of the Sarychev Peak volcano in the Holocene (the Matua Island, Central Kuril Islands)], Extended Abstract of PhD Thesis in Geology, Vladivostok, Institute of Marine Geology and Geophysics, 2013, 27 p.
- Degterev A.V., Rybin A.V., Razzhigaeva N.G. Istoricheskie izverzheniya vulkana Pik Sarycheva (o. Matua, Tsentral'nye Kuril'skie ostrova)* [Historical eruptions of the Sarychev Peak volcano (the Matua Island, Central Kuril Islands)], *Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle*, 2011, no. 1, p. 102–119. (In Russian)
- Ganzei K.S. Landshafty i fiziko-geograficheskoe raionirovanie Kuril'skikh ostrovov* [Landscapes and physiographic regional subdivision of the Kuril Islands], Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2010, 214 p. (In Russian)
- Ganzei K.S. Polistrukturnost' i poligenetichnost' ostrovnnykh geosistem* [Polystructurality and polygenetics of island geosystems], *Tikhookeanskaya geografija*, 2020, no. 1, p. 21–29. (In Russian)
- Grishin S.Yu., Girina O.A., Vereshchaga E.M., Viter I.V. Moschnoe izverzhenie vulkana Pik Sarycheva (Kuril'skie ostrova, 2009 g.) i ego vozdeistvie na rastitel'nyi pokrov* [The powerful eruption of the Sarychev Peak volcano (Kuril Islands, 2009) and its impact on vegetation], *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya RAN*, 2010, no. 3, p. 40–50. (In Russian)
- Grodzinskiy M.D. Piznannya landshaftu: mistse i prostir*, Kiiv, Kiivskiy un-t Publ., 2005, vol. 1, 431 p, vol. 2, 503 p. (In Ukrainian)
- Gurevskikh O.Y., Yantser O.V. Seasonal Dynamics in the Context of Polystructural Organization of Landscapes, Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales*, Springer Nature Switzerland Cham, 2020, p. 273–285.
- Instruktsiya po opredeleniyu raschetnykh kharakteristik dozhddevykh selei VSN 03-76* [Instructions for determining the calculated characteristics of rain debris flows VSN 03-76], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1976, 30 p. (In Russian)
- Isachenko A.G.* [Landscape studies in the transition to the second century of its history], *Landshaftovedenie: teoriya, metody, regional'nye issledovaniya, praktika, materialy XI Mezhdunarodnoy landshaftnoy konferentsii* [Landscape studies: theory, methods, regional studies, practice, materials of the XI International Landscape conference], Moscow, Geographic. Fakulty of Moscow St. un-ty Publ., 2006, p. 3–8. (In Russian)
- Ivanov A.N. Osobennosti landshaftnoi struktury ostrova Matua (Tsentral'nye Kurily)* [Landscape structure peculiarities of the Matua Island (Central Kurils)], *Izvestiya Russk. Geograf. Obshchestva*, 2017, vol. 149, no. 5, p. 26–35. (In Russian)
- Ivanov A.N., Avessalomova I.A. Landshaftno-geokhimicheskie osobennosti ornitogennykh geosistem Yamskikh ostrovov (Okhotskoe more)* [Landscape-geochemical features of ornithogenic geosystems of the Yamsk islands (the Sea of Okhotsk)], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2008, no. 2, p. 35–42. (In Russian)
- Ivanov A.N., Belyaev Yu.R., Degterev A.V., Lugovoi N.N., Rybin A.V., Khismatullin T.I. Opasnye prirodnye protsessy na ostrove Matua (Tsentral'nye Kurily)* [Dangerous natural processes on the Matua Island (Central Kurils)], *Georisk*, 2017, no. 4, p. 28–38. (In Russian)
- Khoroshev A.V. Polimasshtabnaya organizatsiya geograficheskogo landshafta* [Multiple organization of geographical landscape], Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ., 2016, 416 p. (In Russian)
- Kolomyts E.G. Polimorfizm landshaftno-zonal'nykh sistem* [Polymorphism of landscape-zonal systems], Pushchino, ONTI Publishing and Printing Center RAN, 1998, 311 p. (In Russian)
- Krauklis A.A. Problemy eksperimental'nogo landshaftovedeniya* [Problems of experimental landscape science], Novosibirsk, Nauka Publ., 1979, 232 p. (In Russian)
- Makunina G.S. Tri sostavlyayuschikh sistemnoy organizatsii landshafta v kontseptsiyakh F.I. Kozlovskogo, A.A. Krauklisa, V.N. Solntseva* [Three components of the systemic organization of landscape in concepts of F.I. Kozlovsky, A.A. Krauklis and V.N. Solntsev], *Geografija i prirodnye resursy*, 2010, no. 1, p. 18–23. (In Russian)
- Mamai I.I. Otechestvennoe landshaftovedenie: istoriya, sovremennoe sostoyanie, napravleniya poiska* [Russian landscape science on the eve of its centenary], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2008, no. 1, p. 3–12. (In Russian)
- Mikheev V.S. Landshaftnyy sintez geograficheskikh znanij* [Landscape Synthesis of the Geographical Knowledge], Novosibirsk, Nauka Publ., 2001, 216 p. (In Russian)
- Nikolaev V.A. Landshaftovedenie* [Landscape science], Moscow, Moscow St. un-ty Publ., 2006, 208 p. (In Russian)
- Puzachenko Yu.G., D'yakonov K.N., Ivanov A.N. Analiz ierarkhicheskoi struktury rel'efa kak osnovy organizatsii prirodno-territorial'nogo kompleksa* [Analysis of the hierarchical relief structure as a basis of organization of a natural-territorial complex], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 1997, no. 1, p. 3–9. (In Russian)
- Raman K.G. Prostranstvennaya polistrukturnost' tipologicheskikh geokompleksov i opyt ee vyyavleniya v usloviyakh Latviiskoi SSR* [Spatial polystructurality of typological geocomplexes and the experience of its identification in the conditions of the Latvian SSR], Riga, Latv. St. un-ty Publ., 1972, 48 p. (In Russian)
- Reteyum A.Yu.* [On the factors and forms of the space arrangement of the geosphere]. *Voprosy geografii. Sb. 104. Sistemnye issledovaniya prirody* [Problems of geography. Vol. 104. Systems research in the study of nature], Moscow, Mysl' Publ., 1977, p. 84–94. (In Russian)
- Solntsev V.N.* [On some fundamental properties of the geosystem structure]. *Metody kompleksnykh issledovaniy prirody* [Methods for complex research of nature], Irkutsk, In-t geografii Sibiri i Dal'nego Vostoka, 1974, p. 26–36. (In Russian)
- Solntsev V.N.* [Structural Landscape Science: Concept Basics]. *Struktura, funktsionirovanie, evolyutsiya prirodnykh i antropogennykh landshaftov* [Structure, functioning and evolution of natural and anthropogenic landscapes], Moscow, St. Petersburg, Rus. Geogr. Soc. Publ., 1997, p. 11–14.
- Sysuev V.V. Multipattern (Polystructural) Organization of a Landscape: Geophysical Approach, Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales*, Springer Nature Switzerland Cham, 2020, p. 41–54.
- Zakharikhina L.V., Litvinenko Yu.S. Geneticheskie i geokhimicheskie osobennosti pochv Kamchatki* [Genetic and geochemical features of soils of the Kamchatka Peninsula], Moscow, Nauka Publ., 2011, 245 p. (In Russian)
- Zhuchkova V.K., Zonov Yu.B., Goryachenkov V.A.* [Methodological techniques for landscape studies of volcanic regions of Kamchatka], *Landshaftnyi sbornik* [Landscape science collection], Moscow, Moscow St. un-ty Publ., 1973, p. 117–137. (In Russian)

Received 01.10.2020

Revised 10.12.2020

Accepted 21.01.2021