

КАСКАДНАЯ ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОСТРОВА МАТУА (ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КУРИЛЫ)

Иванов А. Н., Авессаломова И. А.,

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический
факультет, г. Москва*

Аннотация. Анализируются возможности использования концепции каскадных ландшафтно-геохимических систем (КЛГС) применительно к островам с активными вулканами. Объект исследования - о. Матуа с вулканом Сарычева, который является наиболее активным на Курилах. В структуре КЛГС острова выделено три яруса. Установлено, что основными латеральными потоками, связывающими все ярусы, выступает гравигенное перемещение тефры, подземный сток с разгрузкой в нижнем ярусе на контакте морских террас, а также вулканические сели. Характерно почти полное отсутствие поверхностного стока, связанное с высокой водопроницаемостью почвенно-пирокластического чехла, и как следствие – отсутствие типичных катен, связанных со стоком. Показано, что для вулканической КЛГС характерно импульсное функционирование и разные виды латеральных потоков во время извержения и между ними.

Ключевые слова: остров, вулкан, геохимическая структура, катены.

CASCADING LANDSCAPE GEOCHEMICAL SYSTEM OF MATUA ISLAND, CENTRAL KURIL

Ivanov A.N., Avessalomova I.A.

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography

Abstract. The possibilities of using the concept of cascading landscape geochemical systems (CLGS) in relation to islands with active volcanoes are analyzed. The object of the study is the Matua Island with the Sarycheva volcano, which is the most active in the Kuril Islands. There are three levels in the structure of the island's CLGS. It has been established that the main lateral flows connecting all levels are the gravitational displacement of tephra, underground runoff with discharge in the lower level at the contact of marine terraces, as well as volcanic mudflows. The almost complete absence of surface runoff is characteristic, due to the high water permeability of the soil-pyroclastic cover, and as a result, the absence of typical catenae associated with runoff. It is shown that the volcanic CLGS is characterized by pulsed functioning and different types of lateral flows during and between eruptions.

Keywords: island, volcano, geochemical structure, catenae, lateral flows.

Введение. Острова с активными вулканами представлены на территории России только в пределах Курильской островной дуги и с ландшафтно-геохимических позиций изучены недостаточно. Центробежный характер движения вещества при извержениях вулканов (от ядра к периферии) предопределяет важную роль однонаправленных латеральных потоков, объединяющих в единую систему геохимические ландшафты, занимающие разные высотные ярусы и меняющиеся в соответствии с гипсометрическими градиентами. Такие цепочки сопряженных природных комплексов образуют каскадные системы, предполагающие ведущую роль входных и выходных потоков в их организации. В геохимической интерпретации к этому типу относятся каскадные ландшафтно-геохимические системы (КЛГС), в которых происходит гравитационное перемещение водных и твердых масс от более высоких уровней к низким [4]. В КЛГС вулканических островов латеральная миграция элементов осуществляется с однонаправленными гравигенными, водными (с поверхностными

и подземными водами) и аэральными потоками. Особенностью большинства вулканических островов являются потоки вещества, которые достигают береговой полосы и формируют КЛГС «вулканический остров – океан». Геохимические исследования вулканов чаще всего связаны с определением химического состава изверженных пород в ходе развития вулкана. В то же время использование концепции КЛГС применительно к действующим вулканам, анализ процессов миграции химических элементов по звеньям ландшафтных катен в научной литературе почти не отражены. Цель исследования – установление особенностей структурно-функциональной организации вулканического острова с использованием концепции КЛГС.

Материалы и методы. Объект исследований – о. Матуа (площадь 52 км²) с очень активным вулканом Сарычева, расположенный в средней части Курильской островной дуги. В структурно-генетическом отношении остров представляет геосистему ранга ландшафт, состоящую из трех местностей [8]. В основу статьи положены полевые исследования на о. Матуа летом 2016 - 2017 гг. При анализе химического состава тефры и лав использованы литературные данные [6], на их основании определены средние содержания макро- и микроэлементов, а также их кларки концентрации (КК) по отношению к кларкам литосферы (по А.П. Виноградову); составлены формулы накопления, отражающие парагенные ассоциации элементов с $КК > 1$. Гидрохимическое опробование включало отбор проб (24 точки) из разных типов водных объектов (снег, лед, родники, ручьи и озера), расположенных во всех трех ярусах КЛГС. Анализ вод проводился по общепринятым методикам. При расчете коэффициентов водной миграции элементов использовалось их содержание в верхнеголоценовой тефре [1]. Различия типов вод выявлялись по формулам Курлова, включающим минерализацию (в г/л) и ионы, составляющие не менее 5% экв. Для характеристики биогеохимических особенностей ландшафтов проведено опробование почв и растений на опорных профилях, заложенных в соответствии со структурой катен. Определение микроэлементного состава зол растений (166 проб) и почв (69 проб) проведено методом приближенного количественного спектрального анализа; содержания в почвах (20 проб) макроэлементов и тяжелых металлов (Ni, Co, V, Cr и др.) методом рентгено-флуоресцентного анализа. При обработке аналитических данных рассчитаны КК элементов в почвах и коэффициенты биологического поглощения (Ах) для растений.

Результаты и их обсуждение. Выявление структуры и функционирования КЛГС о. Матуа показало специфические особенности организации таких систем на островах с активными вулканами. В отличие от «классических» КЛГС гумидных районов, объединенных водными связями, на вулканических островах в их функционировании ведущая роль принадлежит механической миграции. Другая особенность связана с принципиальным изменением их пространственной организации во время извержений и между ними, что проявляется в различии и соотношении латеральных миграционных потоков. В период активизации вулкана преобладают аэральные и гравигенные потоки (площадные и линейные), определяющие включение твердого вещества в механическую миграцию. В периоды между извержениями увеличивается роль экзогенных процессов, в их активизации наряду с гравигенными принимают участие водные потоки и закладываются новые латеральные связи внутри островной КЛГС.

Периоды извержений. С начала XX в. извержения вулкана Пик Сарычева происходили с различной периодичностью и продолжались от нескольких дней до нескольких месяцев. В такие периоды в КЛГС активизируются латеральные потоки, связывающие ландшафты верхнего, среднего и нижнего ярусов. Выраженность потоков и характер влияния зависят от силы и продолжительности извержений. В одних случаях они захватывали значительные площади на конусе вулкана Сарычева и в кальдере вулкана Матуа (выпадение тефры); в других имели линейную направленность (лавовые потоки, лахары), проходили через все ярусы КЛГС, достигали морских террас и акватории океана.

Главная особенность современных извержений вулкана Пик Сарычева – высокая эксплозивность, когда выбрасываемый обломочный материал формирует «палящие тучи» и ассоциированные с ними пирокластические потоки и волны. После обрушения эруптивной

колонны во время извержения 2009 г. склоны острова были перекрыты плащом пирокластических отложений температурой около 500⁰C [3] и мощностью первые десятки метров в трансаккумулятивных позициях. Лавовые потоки андезибазальтового состава на современном этапе развития вулкана имеют подчиненное значение и, как правило, не выходят за пределы верхнего яруса КЛГС. Практически все они были локализованы в западном и северном секторах вулкана, достигали длины 2–3 км при ширине 100–250 м. Другая разновидность линейных латеральных потоков – лахары. Основная зона их питания находится в верхнем ярусе, где накапливаются рыхлые слабо консолидированные пирокластические отложения. Лахары образуются при быстром таяния снега на склонах вулкана, захватывают пирокластический материал, переносят его в средний и нижний ярусы островной КЛГС.

Периоды между извержениями. При выявлении организации КЛГС о. Матуа в спокойные периоды в основу положен анализ катенарной структуры ландшафтов разных высотных ярусов и их роли при возникновении каскадных систем более высокого ранга с учетом деятельности латеральных потоков, определяющих связи в КЛГС.

Верхний ярус. Абиогенные и примитивно-пустынные ландшафты верхнего яруса приурочены к склонам современного вулканического конуса. Для их литогенной основы характерно переслаивание голоценовых лав и пирокластики, причем верхнеголоценовые продукты последних исторических извержений имеют исключительно андезибазальтовый состав. Содержание SiO₂ в них составляет 52,3 – 55,9 CaO 8,8 – 9,5, K₂O 0,99 – 1,3 масс.%, что соответствует умеренно - калиевой известково-щелочной серии андезибазальтов [5]. Расчет КК показал, что среди макроэлементов Са (КК=2,22) занимает первое место и значительно опережает К (КК=0,34), который относится к элементам рассеяния. Для определения микроэлементного состава использованы данные по верхнеголоценовой тефре [6]. Установлено, что в парагенную ассоциацию элементов накопления (КК>1) входят V, Sc, Mn, Ti, Cu, Co, большинство которых специфично для основных пород. Различия в концентрации прослеживаются при сопоставлении состава вулканического гравия и лапиллей с тонким пеплом, в котором отмечен рост содержания V при снижении других микроэлементов (Cr, Ni, Zr, Ba, W и др.).

Типичные катены абиогенных ландшафтов верхнего яруса включают два рода элементарных ландшафтов (ЭЛ) – трансэлювиальные крутых склонов и трансаккумулятивные. Их появление обусловлено медленным сползанием тефры и накоплением на пологих склонах. Такие гравигенные потоки имеют площадное распространение, отражают механическую миграцию и перераспределение твердого вещества в геохимических сопряжениях. При сходе снежного покрова в структуре катен периодически появляются трансаквальные ЭЛ, связанные с ручейками талых вод. Это слабокислые (рН 5,7–5,8) хлоридно-натриевые ультрапресные воды (минерализация от 3,0 мг/л). Переувлажнение грунта вдоль ручейков стимулирует появление своеобразных супераквальных ЭЛ, которые могут рассматриваться как геохимически автономные, так как они питаются атмосферными водами.

У нижней границы примитивно-пустынных ландшафтов появляются пионерные виды и небольшие травяные сообщества с проективным покрытием до 5-10%. Характерный представитель – *Pennellianthus frutescens*, зольность которого составила 10,4 – 13,0%, а к элементам сильного накопления относятся Cu, Zn, Mn, Mo и др. [2]. Состав воды в ручейках на участках с травяной растительностью меняется за счет увеличения минерализации (до 5,8 мг/л) и содержания основных ионов (Са с 0,1 до 0,4, Mg с 0,04 до 0,2 мг/л и др.).

Средний ярус. Геохимические ландшафты среднего яруса сформировались в кальдере вулкана Матуа, характеризующейся сочетанием лавовых плато и древних лавовых потоков, разделенных долинообразными понижениями с крутыми склонами. Вулканические постройки частично перекрыты выбросами вулкана Пик Сарычева во время голоценовых извержений. Здесь происходила частичная аккумуляция тефры и проходит граница распространения отдельных языков пирокластических потоков. Средний ярус является преимущественно зоной транзита для лахаров, хотя их селевые конусы отмечаются в некоторых долинах.

В растительном покрове преобладают заросли ольхового стланика, но встречаются тундровые и луговые сообщества. Для литогенной основы ландшафтов характерно повсеместное наличие почвенно-пирокластического чехла (ППЧ). Это одно из принципиальных отличий ландшафтов среднего яруса от расположенных выше абиогенных ландшафтов. Оно отражает сложность их перестройки в периоды извержений и между ними, когда возрастает роль БИКа, процессов автотрофного и гетеротрофного биогенеза.

Сравнение содержаний элементов в толще ППЧ (на глубине до 90 см) и голоценовой тефре отражает сходство парагенных ассоциаций элементов. Зафиксировано накопление в современных и погребенных органогенных горизонтах почв биогенных элементов – Са (КК 1,6–2,3), Mg (КК до 1,1), P (КК 1–3,2), Mn (КК 1–1,5), Cu (КК 1,1–2,7), Mo (КК до 1,3), что согласуется с их поглощением растениями в ольховом стланике, верещатниковых тундрах и лугах. В условиях кислого выщелачивания грубогумусные почвы являются дополнительным источником поступления в подземные воды элементов, в первую очередь катионогенных (Са, Mg, Mn, Cu, Zn и др.).

В связи с отсутствием зон разгрузки подземных вод и хорошей дренированностью субстрата ландшафты среднего яруса практически лишены поверхностных водотоков, характеризуются доминированием неполных геохимических сопряжений и отсутствием супераквальных и аквальных ЭЛ. В катенах на склонах трансэлювиальные ЭЛ сочетаются с трансаккумулятивными, появление которых обусловлено гравигенными потоками. На первый план выходят обвальное-осыпные процессы и связанные с ними шлейфы и конуса у подножья склонов. Их появление на контакте с лавовыми плато свидетельствует о возможности механического переноса материала между ландшафтами обоих родов, занимающих разные гипсометрические уровни.

Своеобразие катенарной структуры лавовых плато связано с наличием долинообразных понижений, на днищах которых наблюдаются скопления рыхлого материала. Его происхождение связано с деятельностью селевых потоков в период снеготаяния и сильных дождей, а не с миграционными процессами на склонах плато. Сходная ситуация складывается и на расчлененных селевыми врезами склонах древних вулканических построек. Такие линейные эрозионные формы являются важными каналами перемещения однонаправленных гравигенных потоков, обеспечивающих поступление вещества из ландшафтов верхнего уровня. В целом, ландшафты среднего яруса могут рассматриваться как зона транзита и частичной аккумуляции вещества на днищах долин, что определяет их функциональную роль в структуре островной КЛГС.

Нижний ярус. В ландшафтах нижнего яруса осуществляются функции по конечной аккумуляции вещества из верхних звеньев КЛГС. Связь с ними определяется участием не только гравигенных, но и водных потоков, возникающих при разгрузке подземных вод. Специфика этого яруса в том, что при формировании литогенной основы ландшафтов проявлялось влияние как вулканической деятельности, так и окружающей морской акватории. Оно сопровождается появлением прибрежно-морского рельефа (серия разновысотных морских террас). Слабонаклонные поверхности террас создают предпосылки для аккумуляции материала в нижних звеньях КЛГС. Аккумулятивная низкая терраса (2–10 м) сложена песками, на которые в тыловой части налегают конусы выноса из эрозионных врез на абразионных уступах. Эти конусы фиксируют краевую зону аккумуляции КЛГС.

Из латеральных потоков со стороны моря выделяются цунами и штормовые нагоны. В зоне их затопления наблюдается активное размывание низких морских террас, переотложение и вынос материала из нижних звеньев КЛГС, коренная трансформация растительных сообществ и изменение обстановок водной миграции (повышение щелочности). Следы цунами после землетрясений 2006–2007 гг. прослеживаются до высоты 20–25 м и на расстоянии до 400 м от береговой линии. Такие мощные цунами происходят примерно раз в 300 лет, цунами с меньшей высотой волны (6 – 15 м) – раз в 100 лет, а небольшие – почти ежегодно [9]. Штормовые нагоны отличаются меньшей высотой волн и дальностью проникновения, но происходят ежегодно в осенне-зимний период. Протяженность зоны

наложения латеральных потоков со стороны острова и со стороны моря зависит от особенностей береговой зоны и колеблется от первых десятков метров в пределах абразионно-денудационных берегов до первых сотен метров на аккумулятивных побережьях, где возможен вынос материала из нижних звеньев островной КЛГС и увеличение ее «открытости».

Соседство вулканогенных образований с морскими террасами обуславливает внутреннюю гетерогенность ландшафтов нижнего яруса и мозаичные сочетания катен, различающихся по условиям транзита и аккумуляции вещества. По объему перемещенного материала, выделяются гравигенные потоки, связанные с селями, особенно вулканогенного происхождения. Во время извержения в июне 2009 г. самый крупный лахар прошел по поверхности 60-метровой морской террасы примерно 750 м от устья долины, перенес и отложил около 0,2 млн. м³ твердого материала. Такие лахары проходят через все ярусы КЛГС, разгружаясь на морских террасах. Небольшие сели также могут поставлять материал в береговую зону, достигая пляжей. Суммарный объем селевых потоков (совместно твердая и жидкая фазы), рассчитанный по 15 селевым бассейнам, получился равным 1,62 млн. м³. Повторяемость селей в мелких селевых бассейнах составляет в среднем один раз в 3-5 лет, в средних по размеру – каждые 10-15 лет [7].

Выводы.

1. Вулканический остров с центробежным движением потоков вещества к океану может рассматриваться как единая каскадная ландшафтно-геохимическая система регионального уровня. Её внутренняя гетерогенность определяется соседством КЛГС более низкого ранга (катены, бассейны стока). Специфика организации островной КЛГС обусловлена ведущей ролью гравигенных потоков в отличие от «классических», где превалирует жидкий сток. Водопроницаемость почвенно-пирокластического чехла и неразвитость поверхностного стока ограничивают влияние водных потоков, за исключением мест разгрузки подземных вод.

2. Нисходящие потоки захватывают разные высотные ярусы, различающиеся по ландшафтной структуре и приуроченности зон мобилизации, транзита и аккумуляции вещества. Импульсное функционирование эруптивного центра сопровождается изменением латеральных потоков и их воздействия на миграционную структуру КЛГС в периоды извержений и между ними. При активизации вулкана преобладают площадные азральные и гравигенные потоки (выпадение тефры, газовые эмиссии, пирокластические потоки и волны и др.). К ним добавляются линейные лавовые потоки и лахары, иногда достигающие прилегающей акватории. Их совместное действие обеспечивает связь между ярусами в открытой островной КЛГС.

3. Между извержениями включение твердого вещества в механическую миграцию связано с экзогенными процессами и неодинаково проявляется на разных ярусах. Для абиогенных ландшафтов верхнего яруса характерны площадные потоки (гравигенное перемещение тефры и др.), накопление в трансаккумулятивных позициях вещества, готового к мобилизации при возникновении селей и лавин. В среднем ярусе стабилизирующая роль растительности тормозит появление площадных гравигенных потоков. В неполных сопряжениях происходит вовлечение элементов в БИК, накопление на фито- и биогеохимических барьерах (Са, Mg, P, Mn, Cu и др.), вынос в подземные воды при кислотом выщелачивании. Возникновение линейных потоков в лавинно-селевых бассейнах обеспечивает перенос вещества из верхнего яруса на нижележащие уровни и определяет функцию среднего яруса как зоны транзита и частичной аккумуляции.

4. На нижнем ярусе усложнение катенарной структуры в заключительном звене КЛГС определяется совместным действием потоков разных видов и формированием зон аккумуляции. Линейные селевые потоки не доходят до океана и образуют конусы на морских террасах. Площадные потоки при разгрузке подземных вод вызывают появление супераквальных и аквальных ЭЛ, где происходит консервация элементов при торфонакоплении и на физико-химических барьерах, аккумуляция в озерах (Р_{орг}). Несмотря на

вынос при глеевом выщелачивании (Fe, Mn и др.) и включение в водную миграцию биогенных элементов, поверхностный сток часто не доходит до океана. 5. Накопление вещества на селевых конусах и в геохимических ловушках нижнего яруса увеличивает замкнутость островной КЛГС. Возможность ее снижения в периоды между извержениями связана, во-первых, с перемещением материала при камнепадах непосредственно в акваторию, во вторых, с деятельностью латеральных потоков со стороны океана. Характерное звено островной КЛГС – береговая зона. Её роль связана с противоречивым взаимодействием разнонаправленных потоков: приход вещества из верхних ярусов и накопление в нижнем, разрушение зон аккумуляции во время цунами и при штормовых нагонах, контакт поверхностных и океанических вод и увеличение открытости.

Литература

1. Авессаломова И.А., Иванов А.Н. и др. Водная миграция химических элементов в ландшафтах вулканических островов Центральных Курил (на примере о. Матуа) // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2018. № 1. С. 73-80.
2. Авессаломова И. А., Иванов А.Н. Биогеохимические особенности острова Матуа (Центральные Курилы) // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2019. № 5. С. 77-85.
3. Рыбин А.В., Дегтерев А.В., Разжигаева Н.Г. и др. Активные вулканы Курильских островов: вулкан Пик Сарычева. Южно-Сахалинск: 2012. 80 с.
4. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов. М.: Географический факультет МГУ. 2007. 350 с.
5. Дегтерев А.В. Петрохимические особенности продуктов современных извержений вулкана Пик Сарычева, остров Матуа (Курилы) // Вестн. ДВО РАН. 2011. №6. С. 94 – 99.
6. Дегтерев А.В., Рыбин А.В., Мелекесцев И.В. и др. Эксплозивные извержения вулкана Пик Сарычева в голоцене (о. Матуа, Центральные Курилы): геохимия тефры // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31. № 6. С. 16-26.
7. Иванов А.Н., Моисеев А.И., Хисматуллин Т.И. и др. Полиструктурная организация вулканического ландшафта острова Матуа (Центральные Курилы) // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2021. № 4. С. 140-151.
8. Иванов А.Н. Особенности ландшафтной структуры острова Матуа (Центральные Курилы) // Известия Русского Географического общества. 2017. Т. 149. Вып. 5. С. 26-35.
9. Иванов А.Н., Авессаломова И.А. и др. Остров Матуа. М.: Паулсен, 2020. 280 с.