

УДК 550.47

И.А. Авессаломова¹, А.Н. Иванов²**БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАНДШАФТОВ ОСТРОВА МАТУА (ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КУРИЛЫ)**

Показано значительное ландшафтно-геохимическое разнообразие острова Матуа, которое определяется активной вулканической деятельностью, влиянием океана и интенсивностью современных экзогенных процессов. Биогеохимическая неоднородность катен увеличивается в связи с комплексностью растительного покрова и соседством элементарных ландшафтов с разным типом биологического круговорота. В качестве индикаторов биопродукционного процесса выбрана фитомасса травяного яруса и запас в ней зольных элементов, а также способность растений к поглощению микроэлементов. Установлено, что продуцирование фитомассы выше у ольховников крупнотравных и папоротниковых, чем у вейниковых и колосняковых лугов. При общей тенденции к накоплению катионогенных элементов (Mn, Cu, Zn) биогеохимическая активность ольховника, крупнотравья и папоротников больше по сравнению с бореальными кустарничками, злаками и осоками. Наряду с видовой специализацией растений вовлечение элементов в биологический круговорот корректируется эколого-геохимическими особенностями местообитаний.

Ключевые слова: Курильские острова, о. Матуа, геохимические ландшафты, разнообразие, биопродуктивность, биогеохимическая активность растений

Введение. В соответствии с законом самоорганизации геохимических ландшафтов [Перельман, 1995] ее степень возрастает при увеличении емкости автотрофного биогенеза и интенсификации биологического круговорота (**БИК**), но может меняться в зависимости от активности современных абиогенных процессов и неоднородности литогенной основы, снижающих когерентность ландшафтов. С этой точки зрения особый интерес представляют вулканические острова Неопацифики, для которых характерны субарктические и бореальные геосистемы берингийского типа. Их биогеохимические особенности формируются одновременно в условиях активной вулканической деятельности и под влиянием океана.

В настоящее время установлено, что приток элементов минерального питания с пеплопадами и при импульверизации солей с океана, благоприятные водно-физические свойства и богатство основаниями андезибазальтов обеспечивают рост продуктивности экосистем Тихоокеанского кольца по сравнению с внутриконтинентальными регионами [Базилевич, 1981]. Высокой продукцией отличаются крупнотравные луга Курильских островов, Камчатки и Сахалина. Для них характерны эндемичные виды, в первую очередь лабазник камчатский (*Filipendula kamtschatica*), образующий монодоминантные фитоценозы.

Для таких сообществ выявлено активное продуцирование фитомассы в начале вегетации, азотно-калиевый тип химизма и способность к запасанию элементов в подземных органах. Увеличение фитомассы лугов наблюдается в местообитаниях при дополнительном притоке влаги и питательных ве-

ществ. Луга с вейником Лангсдорфа (*Calamagrostis langsdorfii*) отличаются азотно-кремниевым типом химизма и высокой вариабельностью фитомассы, снижающейся при избытке или недостатке влаги [Урусов, 1998; Степанова с соавт., 1981]. Для Южных Курил установлена биогеохимическая адаптация растений в вулканических ландшафтах и связь гигантизма крупнотравья с зонами активных тектонических нарушений, по которым осуществляется тепломассоперенос [Побережная, Веселов, 2011]. На Камчатке выявлен рост накопления элементов в растениях супераквальных ландшафтов при притоке вещества с термальными водами и в зонах пеплопадов. Предполагается, что активность биопоглощения стимулируется наличием растворимых форм микроэлементов в почвах и пеплах, но может быть связана (у вейника Лангсдорфа) с отсутствием физиологических барьеров поглощения или стрессовыми условиями таких местообитаний [Захарихина, Литвиненко, 2011]. На Курильских островах биогеохимические особенности определяются не только вулканической деятельностью, но и влиянием океана, что выражается в увеличении содержания талассофильных элементов [Фураев, 2013]. Исследования БИКа горных тундр и стлаников Охотско-Чукотского вулканического пояса показали их низкую продуктивность, активное накопление в фитомассе N по сравнению с другими зольными элементами, низкую скорость разложения опада и накопление мортмасс [Игнатенко, Пугачев, 1979; Пугачев, 2009; Базилевич, Титлянова, 2008]. Для островов северной Японии установлено, что происходящее зимой потепление климата влияет на биогеохимию азота почвы (общее содержание N, транс-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: aiageo@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: a.n.ivanov@mail.ru

формация микробного азота и др.) в течение всей зимы, в период таяния снега и во время вегетационного периода [Shibata, 2016]. В лесах с подлеском из бамбука на Южных Курилах и в Японии изучена роль Si в биогеохимических циклах. Установлено, что годовое поступление Si в почву и поглощение в бамбучниках гораздо выше, чем в хвойных и смешанных лесах без бамбука [Ikegami et al., 2015]. На о. Хоккайдо определены биогеохимические особенности 46 видов растений и обнаружен островной эндемик *Thlaspi japonicum* с экстраординарной способностью к накоплению Ni (в среднем 1300 мг/кг). Это первый Ni-гипераккумулятор, найденный в Японии [Mizuno et al., 2009].

В целом данные по биогеохимии островов региона остаются отрывочными и неполными. Для установления биогеохимической специфики труднодоступных Центрально-Курильских островов с активным проявлением вулканизма необходимы специальные исследования, которые до настоящего времени не проводились. Попытка охарактеризовать их особенности предпринята нами на примере о. Матуа. Основные задачи: 1) выявление ландшафтно-геохимического разнообразия с учетом организации катен; 2) сравнение разнотипных ландшафтов по активности продукционного процесса; 3) определение роли филогенетической специализации растений при вовлечении элементов в БИК.

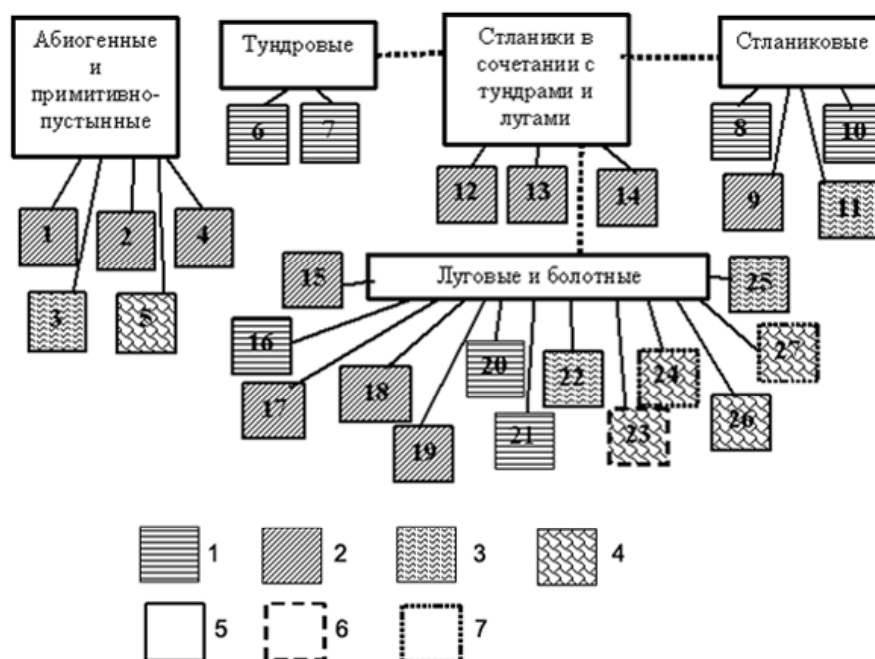
Объект и методы исследований. Объект исследований – о. Матуа (площадь 52 км²) в средней части Курильской островной дуги. На нем находится один из наиболее активных современных курильских вулканов – Пик Сарычева (за прошедшие 250 лет достоверно известно не менее 10 извержений; последнее – в июне 2009 г.). Главная особенность современных извержений – высокая эксплозивность, когда выбрасываемый обломочный материал формирует эруптивные тучи, пирокластические потоки и связанные с ними пирокластические волны [Дегтерев, 2011]. В условиях умеренного морского климата с большим количеством осадков (1278 мм) и аномально холодным летом для 48° с.ш. (среднегодовая температура в июне – августе составляет 5,1–10,6°С) в растительном покрове фон образуют верещатниковые тундры, луга и ольховый стланик, под которыми формируются слаборазвитые органо-аккумулятивные грубогумусовые почвы [Иванов, 2017].

Для характеристики биогеохимических особенностей ландшафтов в 2016–2017 гг. проведено опробование почв, растений и вод на эталонных участках и опорных профилях, заложенных в соответствии со структурой катен. Для определения фракционной структуры надземной травянистой фитомассы в разнотипных элементарных ландшафтах (ЭЛ) в начале вегетационного периода отобраны укосы с площадок 50х50 см, а также отдельные виды растений разных систематических групп. Озонация растительных проб сухим способом проведено в аналитической лаборатории кафедры физической географии и ландшафтоведения географическо-

го факультета МГУ. Определение микроэлементного состава зол растений (166 проб) и почв (69 проб) проведено в Бронницкой геолого-геохимической экспедиции ФГУП «ИМГРЭ» методом приближенного количественного спектрального анализа (ПКСА). По одной из катен в лаборатории кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ получены данные о содержании в почвах (20 проб) макроэлементов и тяжелых металлов (Ni, Co, V, Cr и др.) методом рентгено-флуоресцентного анализа. При обработке аналитических данных проведен расчет запасов зольных элементов в фитомассе, их кларков концентрации (КК) в почвах, золах растений и тefре (по отношению к кларкам литосферы [Виноградов, 1962]) и коэффициентов биологического поглощения (Ах) по отношению к почвам. Для определения биогеохимической активности растений (БХА=ΣКК) использованы кларки концентрации, полученные для 20 микроэлементов. На основании составленной ландшафтно-геохимической карты масштаба 1:50 000 выявлены ареалы ЭЛ, при систематике которых использована классификация А.И. Перельмана [1989]. Это позволило охарактеризовать внутреннюю ландшафтно-геохимическую неоднородность островной геосистемы и варианты пространственного соседства ЭЛ в катенах.

Результаты и их обсуждение. Структурно-функциональное своеобразие геохимических ландшафтов о. Матуа определяется несколькими причинами: 1) наличием активного эндогенного ядра и его полей, связанных с нисходящими латеральными потоками; 2) вулканической деятельностью голоцена–плейстоцена, вызвавшей метакхронность и полигенезис ортоэлювиальных ландшафтов, ярусность морфолитогенной основы, преобладание трансэлювиальных звеньев в структуре катен; 3) соседством ЭЛ с разным типом БИКа и его нарушение при вулканических извержениях; 4) участием миграционных потоков с моря в функционировании ландшафтов береговой зоны. Совместное действие абиотических и биотических факторов определяет ландшафтно-геохимическую гетерогенность острова, что увеличивает вариабельность биогеохимических параметров.

Ландшафтно-геохимическое разнообразие о. Матуа. По характеру БИКа выделяется пять типов геохимических ландшафтов: абиогенные и примитивно-пустынные, тундровые, стланиковые, луговые и болотные (рис.). Большинство из них относится к Н-классу и характеризуется развитием кислой среды в органогенных горизонтах торфянистых и грубогумусовых почв с низкой активностью детритогенеза. Увеличение контрастности в катенах морских террас связано с появлением луговых и болотных комплексов Н-Fe-класса. Родовые отличия ЭЛ связаны с дифференцирующей ролью рельефа и историей развития. На основании разных вариантов пространственного соседства автономные и подчиненные ЭЛ группируются в катены определенных высотных ярусов. Однородность их



Ландшафтно-геохимическое разнообразие о. Матуа. Условные обозначения: роды элементарных ландшафтов: 1 – автономные, 2 – трансэлювиальные, 3 – трансаккумулятивные, 4 – супераквальные; классы элементарных ландшафтов: 5 – Н-класс, 6 – Н – Н-Са, 7 – Н-Fe-класс. Номера элементарных ландшафтов в клетках соответствуют их номерам в тексте

Landscape-geochemical diversity of the Matua Island. Genera of elementary landscapes: 1 – eluvial, 2 – transeluvial, 3 – transaccumulative, 4 – supraqual; classes of elementary landscapes: 5 – H-class, 6 – H – H-Ca, 7 – H-Fe-class. The numbers of elementary landscapes correspond to their numbers in the text

литогеохимической специализации определяется преобладанием андезибазальтов и пирокластического чехла, включающего позднеголоценовую андезибазальтовую тефру. Абразионно-аккумулятивные террасы (нижний ярус) сложены песками и галечниками, залегающими на андезибазальтах; их можно отнести к неоллювиальным ландшафтам, хотя морские четвертичные отложения часто перекрыты пирокластикой.

Абиогенные и примитивно-пустынные ландшафты нивального пояса доминируют в северо-западной части острова. Их разнообразие определяется миграцией вещества при современных и голоценовых извержениях, появлением трансэлювиальных комплексов на лавовых потоках (ЭЛ 1) и крутых склонах стратовулкана (ЭЛ 2, 4), соседствующих с трансаккумулятивными (ЭЛ 3) на участках с накоплением пирокластического материала. Особое место среди абиогенных ландшафтов занимают песчано-галечные пляжи (ЭЛ 5), где отсутствуют даже пионерные группировки. Тундровые, стланиковые и луговые ландшафты занимают юго-восточную и юго-западную части острова. В связи с хорошей проницаемостью пирокластического материала и отсутствием постоянных водотоков в их миграционной структуре основная роль принадлежит гравигенным потокам и латеральному перераспределению вещества в катенах при механической миграции.

Для тундровых ландшафтов характерны верещатники, сменяющиеся при увеличении гидромор-

фности луготундрами. Преобладают шикшевики, встречающиеся в широком диапазоне высот – на морских террасах среднего уровня (ЭЛ 7) и лавовых плато (ЭЛ 6), где появляются вейниково-шикшевые тундры с рододендромом. Кустарничковые и луговинные тундры ранее были отмечены на высотах около 550 м [Гришин, Терехина, 2012], их сокращение у верхней границы связано с повреждением растительности при современных извержениях. В то же время в связи с комплексностью растительного покрова тундры образуют мозаичные сочетания с ольховниками и лугами на склонах лавовых потоков (ЭЛ 12), вулканических построек (ЭЛ 14) и абразионных террас (ЭЛ 13).

Ольховый стланик в юго-восточной части острова встречается в автономных ландшафтах разновозрастных лавовых плато (ЭЛ 8) и морских террас (ЭЛ 10), в трансэлювиальных – на склонах древних конусов и вулканических построек (ЭЛ 9), а кроме того в трансаккумулятивных звеньях катен, приуроченных к конусам лахаров (ЭЛ 11). Индикатором увеличения разнообразия экологических условий в пределах стланикового пояса является изменение структуры фитоценозов, в первую очередь травяного яруса (ольховники крупнотравные, папоротниковые, вейниковые и др.).

Высоким разнообразием отличаются луговые ландшафты разных классов и родов на юго-западе и юге острова. Ландшафты Н-класса со злаково-разнотравными лугами встречаются на лавовых

плато (ЭЛ 16), склонах стратовулкана (ЭЛ 17) и плейстоценовых вулканических построек (ЭЛ 19), террасах высокого и среднего уровня (ЭЛ 20, 21). На скалистых тектонико-денудационных склонах они сочетаются с примитивно-пустынными группировками (ЭЛ 15, 18); в зоне аккумуляции гравийных потоков луга на разновозрастных конусах лахаров (ЭЛ 22) соседствуют с пионерными группировками молодого конуса 2009 года (ЭЛ 25). Своеобразие катенарной структуры морских террас проявляется в появлении супераквальных ЭЛ. Они различаются по степени геохимической подчиненности в зависимости от происхождения вод [Глазовская, 2002]. К числу слабо подчиненных относятся ЭЛ, подверженные воздействию морских вод (особенно во время цунами). Это элементарные ландшафты Н- и Н – Н-Са-класса на низких террасах с разнотравно-колосняковыми лугами (ЭЛ 23) и галечниково-валунных пляжах с фрагментарными группировками колосняка мягкого (ЭЛ 26). Геохимически подчиненные супераквальные ландшафты Н-Fe-класса с высокотравными лугами (ЭЛ 24) формируются в зонах разгрузки вод на контакте низких террас с лавовыми потоками. В суффозионных западинах и между береговыми валами при близком залегании грунтовых вод в условиях кислого оглеения появляются злаково-осоково-ситниковые болота (ЭЛ 27), что увеличивает геохимическую контрастность сопряженных ЭЛ низких террас.

Параметры биопродукционного процесса. В настоящее время отсутствие данных по всему набору экстенсивных параметров биогенной миграции не позволяет дать детальную количественную оценку продуктивности для всех ландшафтов о. Матуа.

Для характеристики автотрофного биогенеза использована продукция травяного яруса как одного из активных звеньев БИКа. Вариабельность надземной травянистой фитомассы отражает внутреннее разнообразие ландшафтов разных типов и различия в интенсивности биопродукционного процесса, проявляющиеся уже в начале периода вегетации (табл. 1).

В стланиковом поясе наибольшая травянистая фитомасса отмечается в ольховниках с доминированием лабазника камчатского (26,4–56,8 ц/га). Они различаются по фракционной структуре фитомассы и запасу зольных элементов. В трансэлювиальных ЭЛ Н-класса с мелкокорфянистыми стратифицированными почвами у ольховников с монодоминантным лабазниковым травостоем она составляет 54,8 ц/га и отличается наибольшим запасом зольных элементов (4,99 ц/га). Близкие показатели запасов (4,3 ц/га) выявлены у злаково-лабазниковых ольховников абразионно-денудационных склонов, где при усложнении структуры фитомассы сохраняется преобладающая роль крупнотравья (42,8 ц/га) по сравнению со злаками (14 ц/га). Снижение фитомассы и запаса зольных элементов в травяном ярусе наблюдается у щитовниково-лабазниковых, щитовниковых и борщевиковых ольховников. Наименьшие значения этих показателей (соответственно 10 ц/га и 0,76 ц/га) отмечены у вейниковых ольховников на лавовых потоках.

Активизация продукционного процесса в начале вегетации у крупнотравных ольховников связана с участием в составе фитоценозов лабазника камчатского. Это молодой эндем крупнотравья Курильских островов и других приокеанических районов

Таблица 1

**Фитомасса и запас зольных элементов в травяном покрове ландшафтов разных типов
(начало вегетационного периода)**

Название фитоценоза и число проб (в скобках)	Надземная сухая травянистая фитомасса, ц/га	Запас зольных элементов в травянистой фитомассе, ц/га
Ольховники		
Лабазниковые, злаково- и щитовниково-лабазниковые (9)	26,4–56,8	1,88–4,99
Борщевиковые и щитовниковые (4)	16,4–31,2	1,18–2,43
Вейниковые (2)	10,0–17,2	0,76–1,46
Луга		
Крупнотравные злаково-борщевиковые и злаково-разнотравные (4)	31,6–38,0	2,15–2,68
Колосняковые и разнотравно-колосняковые (3)	12,4–16,4	0,61–1,81
Вейниковые и разнотравно-вейниковые (5)	4,4–12,8	0,36–0,77
Луга в сочетании с шикшевниками		
Вейниковые и разнотравно-вейниковые (6)	8,8–16,4	0,58–1,36
Колосняковые (2)	4,0–6,8	0,21–0,37
Тундры		
Вейниковые (1)	4,8	0,33
Болота		
Осоковые (2)	4,4–20,0	0,34–1,52

Дальнего Востока. Его физиологические особенности формировались в период преобразования третичных лесов при нарастающем похолодании климата, что отразилось на способности к запасанию минеральных веществ в подземных органах и активному прорастанию побегов ранней весной еще под снегом [Урусов, 1998; и др.]. Ежегодно продуцируемая зеленая масса лабазниковых лугов составляет на Камчатке 9–10 т/га в год и увеличивается на южных островах (Сахалине, Монероне) до 12,5–19,0 т/га в год и более [Морозов, 1978; Базилевич, 1981; Степанова с соавт., 1981]. Опираясь на эти данные, можно предположить, что доля травянистой фитомассы в лабазниковых ольховниках о. Матуа весной составляет около 30–50% от ежегодной продукции травяного яруса.

По активности биопродукционного процесса луговые ландшафты о. Матуа можно разделить на две группы. В одну отнесены луга с преобладанием злаков (разнотравно-колосняковые, колосняковые, разнотравно-вейниковые, вейниковые), где травянистая фитомасса составляет 4,4–16,4 ц/га. Они приурочены к низким террасам с береговыми валами и слабообразованными псаммоземами или к крутым абразионно-денудационным склонам террас. Сходные значения отмечены для вейниковых и колосняковых лугов, встречающихся в комплексе с шикшевниками. В приокеанических районах Дальнего Востока надземная фитомасса сообществ вейника Лангсдорфа составляет 5,8–7,8 т/га [Степанова с соавт., 1981], и он также отличается интенсивным ранним ростом. С учетом весенней травянистой фитомассы вейниковых лугов о. Матуа ее доля в их ежегодной продукции (16–22%) ниже, чем было отмечено для лабазникового крупнотравья. Это может быть обусловлено снижением фитомассы таких лугов из-за реакций вейника на изменение режима увлажнения почв на террасах и склонах в течение весеннего периода.

Другую группу составляют крупнотравные злаково-борщевиковые луга пологих склонов лавовых потоков и высоких террас, перекрытых лахарами. Их фитомасса достигает 31,6–38,0 ц/га при запасе

зольных элементов (2,15–2,68 ц/га), сопоставимом с полученным для травяного яруса борщевиковых ольховников. Значительной вариабельностью отличается фитомасса осоковых сообществ супераккумулятивных ЭЛ, которая увеличивается (20 ц/га) в болотах присклоновых частей террас при разгрузке грунтовых вод и снижается (4,4 ц/га) в заболоченных суффузионных западинах. Различия в величинах травянистой фитомассы и запасов зольных элементов показывают определяющую роль структурно-функциональных особенностей растительных сообществ при автотрофном биогенезе в ландшафтах разных типов.

Биогеохимическая специализация растений.

Для выявления потока минеральных веществ, вовлекаемых в БИК, использованы данные по зольности (сухая зола) и интенсивности биологического поглощения элементов растениями (табл. 2). Повышенной зольностью (7,2–7,6%) отличается крупнотравье, хотя у лабазника камчатского она оказалась ниже по сравнению с данными по островам Сахалин и Монерон, где его зольность достигает 9,2–9,6% [Степанова с соавт., 1981]. Близкие данные (8,1%) получены для лабазника в лесных ландшафтах Дальнего Востока, когда накопление минеральных веществ определялось по содержанию сырой золы [Бабурин, Кольцова, 1973]. Высокая зольность и большая фитомасса крупнотравья увеличивают запас зольных элементов в травяном покрове лабазниковых и борщевиковых ольховниках и на борщевиковых лугах.

Повышенной зольностью отличаются также крестовник лжеарниковый (*Senecio pseudoarnica*) и пеннеллиант кустарниковый (*Pennellianthus frutescens*). Крестовник встречается на разнотравно-колосняковых лугах низких террас (зольность 10,2–11,3% и более), у которых запас зольных элементов в травянистой фитомассе больше, чем в монодоминантных колосняковых (соответственно 1,8 и 0,6 ц/га). Пеннеллиант относится к пионерным видам, появляющимся на свежих лавовых потоках и склонах стратовулкана. Зольность его единичных экземпляров на

Таблица 2

Зольность и биогеохимическая активность растений

Название вида	Число проб	Сухая зола, %	БХА	Элементы биологического накопления	
				10п	п
Ольховник (листья)	22	5,8	78,4	В, Р	Cu, Zn, Mn, Mo
Шикша	5	5,1	44,7		
Лабазник камчатский	18	7,2	75,6		
Борщевик шерстистый	6	7,6	56,5		
Щитовник распростертый	22	6,3	65,4		
Вейник Лангсдорфа	22	7,3	47,0	Р	В, Cu, Zn, Mn, Mo
Колосняк мягкий	28	5,6	46,3		
Злаки (по укосам)	13	6,8	36,2		
Осоки	13	7,7	42,8		

покрытых тефрой склонах, лишенных почвенного покрова, составляет 10,4–13,0%, она снижается (5,8–7,5%) там, где пеннеллиант входит в состав травяно-кустарничковых группировок на маломощных грубогумусных почвах. Такие различия согласуются с предположением о повышенной зольности растений в местообитаниях, где на стадии первичного почвообразования более интенсивное корневое питание растений минеральными веществами связано с расположением корнеобитаемого горизонта на андезитовом пепле и повышенным содержанием солей макрокомпонентов в питательном растворе [Захарихина, Литвиненко, 2011].

Тенденция к снижению зольности у ольховника (*Duschekia fruticosa*), бореальных кустарничков (шикша – *Empetrum sibiricum*) и папоротников (щитовник – *Dryopteris expansa*) согласуется с литературными данными. Из злаков наименьшая зольность (в среднем 5,6%) отмечается у такого псаммофильного вида, как колосняк мягкий (*Leymus mollis*). Ее вариабельность связана с различием экологических условий в пределах низких морских террас. Снижение зольности колосняка до 4,6–4,9% наблюдается на нижнем уровне, где пионерные группировки развиваются на слабозрелых псаммоземах в зоне сезонных штормов, а также на слабовыраженных валах без почвенного покрова. На удаленных от моря береговых валах и межваловых понижениях с разнотравно-колосняковыми лугами его зольность варьирует от 5,1 до 5,5% и увеличивается до 6,2–6,7% в вейниково-колосняковых лугах и лугах с ольховником на псаммоземах и грубогумусовых почвах.

Зольность вейника Лангсдорфа выше, чем колосняка (от 5,5 до 9,1%, в среднем 7,3%). Это близко к результатам, полученным по сухой (8,7%) и сырой (4,4–9,8%, в среднем 8,9%) золе в его надземных органах для других районов Дальнего Востока [Бабурин, Кольцова, 1973; Степанова с соавт., 1981]. Сходные данные (9,2%) получены нами для островов Северной Пацифики со скоплениями морских колониальных птиц [Иванов, Авессаломова, 2008]. На о. Матуа снижение зольности вейника до 5,5–5,9% отмечается в единичных случаях при его участии в составе несформированных растительных группировок на свежих лавовых потоках, а также в травяном ярусе ольховников крутых склонов. Повышение обнаружено в крупнотравных ольховниках, что определяет увеличение запаса зольных элементов (до 1,46 ц/га) в их травяном ярусе. Зольность осок, как и вейника, в среднем составляет 7,7% и снижается до 5,9% в разреженных пионерных группировках на высотах около 800 м, где соседствуют отдельные экземпляры осоки желтоконечной (*Carex flavocuspis*) и пеннеллианта. Очевидно, особенности филогенетической специализации определяют различную способность этих видов к запасанию минеральных веществ в сходных эдафотопях. Зольность осок увеличивается до 6,8–8,6% и более в супераквальных ЭЛ в местах разгрузки грунтовых вод и в болотах низких морских террас.

Наряду с зольностью, различия в филогенетической специализации растений проявляются в их биогеохимической активности к поглощению микроэлементов (табл. 2). По величине БХА их можно объединить в две группы. В первую группу (БХА 56,5–78,4) вошли ольховник и лабазник, отличающиеся самой высокой БХА, а также борщевик (*Heracleum lanatum*) и щитовник. Вторая группа (БХА 36,2–47,0) включает бореальные кустарнички (шикша), злаки и осоки. Пониженная БХА злаков и осок связана в первую очередь со снижением поглощения В, что характерно для видов этих систематических групп. Близкое содержание микроэлементов в тефре и почвах не вносит существенных изменений при оценке биогеохимической активности растений, рассчитанной по кларкам концентрации и коэффициентам биологического поглощения.

В рядах биологического поглощения у всех видов к элементам энергичного накопления относится Р (КК 25–32), хотя активность его поглощения ниже у шикши и крестовника (КК 13–14). Такое положение Р в рядах согласуется с данными по Камчатке. Его содержание в золе вейника Лангсдорфа на о. Матуа составляет 15 000–30 000 мг/кг (КК до 28). На Камчатке в районе вулкана Карымский оно варьирует от 14 422 до 36 742 мг/кг, что связывается с отсутствием у этого злака физиологических барьеров поглощения Р и ряда других элементов (Мо, В) в связи со стрессовыми условиями в зоне активных пеплопадов [Захарихина, Литвиненко, 2011]. Содержание В у вейника на о. Матуа меньше, чем на Камчатке (соответственно 30–40 мг/кг и 84–181 мг/кг). Снижение его биопоглощения отмечено и у других злаков и осок, что согласуется с их специализацией.

В группу элементов сильного накопления вошли Cu, Zn, Mn и Mo, у отдельных видов Sg и Ba, что говорит о преобладании катиногенных элементов. Для лабазника камчатского это подтверждает связь центров его видообразования с гумидными ландшафтами третичных лесов. Варьирование содержания отдельных элементов и изменение их положения в рядах разных растений отражает особенности их филогенетической специализации и влияние местных факторов. Обеспеченность растений Mn обусловлена особенностями литогенной основы и обстановкой водной миграции. Он входит в ассоциацию элементов, накапливающихся в андезибазальтах, тефре и почвах, а его доступность растениям поддерживается преобладанием ландшафтов Н-класса. Наибольшей активностью к поглощению Mn отличаются крупнотравные виды (лабазник, борщевик), щитовник и вейник Лангсдорфа. Сходные данные получены для растений Камчатки, островов Сахалин, Монерон, Кунашир и других островов, сложенных магматическими породами [Ивлев, 1973; Степанова с соавт., 1981; Добровольский, 1998; Захарихина, Литвиненко, 2011; Фураев, 2013]. Для супераквальных ландшафтов Н-Fe-класса на о. Матуа характерно повышенное содержание и подвижность Mn в болотных водах [Авессаломова с соавт., 2018], что способствует увеличению его поглоще-

ния осоками. Активное накопление Sr на береговых террасах у шикши и крестовника связано, очевидно, с переносом этого талассофильного элемента с океана.

Значительная часть микроэлементов слабо захватывается растениями ($KK < 1$). Одни из них не играют профилирующей роли в составе тейфы (Ni, Sn, Be и др.), другие входят в парагенную ассоциацию накапливающихся элементов (V, Ti, Sc и др). Несмотря на обогащенность тейфы и почв V, этот аниогенный элемент отличается слабой подвижностью в ландшафтах Н-класса и мало доступен растениям. Увеличение активности поглощения V зафиксировано у пеннеллианта (80–100 мг/кг) на свежих лавовых потоках, где снижается кислотность тейфового слоя. По интенсивности его накопления пеннеллиант выделяется среди остальных видов, что может быть связано с филогенетической специализацией пионерных видов на склонах вулкана.

Выводы:

– ландшафтно-геохимическое разнообразие о. Матуа определяется совместным действием факторов, с которыми связано соседство разновозрастных бореально-субарктических ландшафтов с разным типом БИКа. Влияние вулканической деятельности проявляется в появлении примитивно-пустынных ландшафтов на разных высотных уровнях, сокращении площади тундр, развитии ольховников (вместо кедрового стланика) и увеличении сложности растительного покрова. При постоянстве литогеохимической специализации андезибазальтового субстрата наблюдается увеличение разнообразия родов элементарных ландшафтов в связи с активностью современных процессов и механической миграции, различием структуры катен на вулканических постройках и морских террасах.

Замедленность БИКа при низкой скорости разложения мортмасс способствует увеличению кислотности грубогумусных почв и формированию ландшафтов Н-класса. Увеличение контрастности обстановок водной миграции связано с появлением супераквальных ландшафтов Н-Fe-класса в местах разгрузки подземных вод и в заболоченных западинах, Н – Н-Са-класса – в береговой полосе в зоне влияния морских вод;

– однотипные ландшафты различаются по структуре травяного покрова и вариативности травянистой фитомассы уже в начале вегетационного периода. По активности ее продуцирования выделяются ольховники крупнотравные и борщевиковые луга в отличие от вейниковых и колосняковых лугов. Варьирование запаса минеральных веществ зависит от активности их накопления доминантами лугов в разных элементарных ландшафтах. Снижение зольности колосняка наблюдается на слабозрелых псаммоземах низких террас в зоне сезонных штормов, у вейника Лангсдорфа – на молодых лавовых плато и в несомкнутых растительных группировках на крутых склонах;

– высокой биогеохимической активностью в отношении микроэлементов отличаются ольховники, представители крупнотравья и папоротников, пониженной – бореальные кустарнички, злаки и осоки. Их общим свойством является энергичное поглощение Р и сильное накопление катиогенных элементов (Mn, Cu, Zn и др.). Наряду с филогенетической специализацией включение элементов в БИК корректируется субстратом и обстановкой, определяющей доступность элементов растениям.

Благодарности. Исследования проводились при поддержке Русского географического общества (проект № 02/2017-Р).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авессаломова И.А., Иванов А.Н., Савенко А.В. Водная миграция химических элементов в ландшафтах вулканических островов Центральных Курил (на примере о. Матуа // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2018. № 1. С. 73–80.
- Бабуринов А.А., Кольцова А.Г. Зольность растений таежных и хвойно-широколиственных ландшафтов Дальнего Востока // Ландшафты юга Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1973. С. 68–73.
- Базилевич Н.И. Продуктивность, энергетика и биогеохимия наземных экосистем Тихоокеанского кольца // Вопросы географии. Сб. 17. Геофизика ландшафта. М.: Мысль, 1981. С. 146–208.
- Базилевич Н.И., Титлянова А.А. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 381 с.
- Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
- Глазковская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. Смоленск: Ойкумена, 2002. 287 с.
- Гришин С.Ю., Терехина Н.В. Растительный покров острова Матуа (Курильские острова) // Комаровские чтения. 2012. Вып. LIX. С. 188–229.
- Дегтерев А.В. Петрохимические особенности продуктов современных извержений вулкана Пик Сарычева, остров Матуа (Курилы) // Вестник ДВО РАН. 2011. № 6. С. 94–99.
- Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Высшая школа, 1998. 413 с.
- 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 Русского Географического общества. 2017. Т. 149. Вып. 5. С. 26–35.
- Иванов А.Н., Авессаломова И.А. Ландшафтно-геохимические особенности орнитогенных геосистем Ямских островов (Охотское море) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2008. № 2. С. 35–42.
- Ивлев А.М. К вопросу о биогеохимическом районировании о. Сахалин // Ландшафты юга Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1973. С. 107–115.
- Игнатенко Н.В., Пугачев А.А. Динамика растительной массы и биологический круговорот в горнотундровых и кедровостланиковых ландшафтах Северного Охотоморья // Биологический круговорот в тундролесьях юга Магаданской области. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 92–124.

Морозов В.Л. Запасы надземной и подземной фитомассы крупнотравья и его доминантов на Сахалине // Ботанический журнал. Т. 63. № 3. Л.: Наука, 1978. С. 381–387.

Перельман А.И. Геохимический ландшафт как самоорганизующаяся система // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1995. № 4. С. 10–16.

Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 339 с.

Побережная Т.М., Веселов О.В. Экологические исследования на стыке биологических и геологических наук // Вестн. ДВО РАН. 2011. № 6. С. 43–47.

Пугачев А.А. Биологический круговорот и почвообразование в ландшафтах Крайнего Северо-Востока России. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2009. 116 с.

Степанова К.Д., Белая Г.А., Качура Н.Н. и др. Биологическая продуктивность луговых сообществ Дальнего Востока (приокеанические районы). М.: Наука, 1981. 228 с.

Урусов В.М. География и палеогеография видообразования в Восточной Азии (сосудистые растения). Владивосток: ТИГ ДВО РАН, 1998. 167 с.

Фураев Е.А. Геохимия ландшафтов острова Кунашир (Курильские острова). М.: Прометей, 2013. 181 с.

Ikegami N., Satake T., Nagayama Y., Inubushi K. Biogeochemical Si cycling in bamboo forests with evergreen broad-leaved forest and coniferous forest in a temperate climate // Japanese Journal of Forest Environment. 2015. Vol. 57. № 1. P. 7–17.

Mizuno T., Horie K., Nosaka S. et al. Serpentine Plants in Hokkaido and their Chemical Characteristics // Northeastern Naturalist. 2009. Vol. 16. P. 65–80.

Shibata H. Impact of winter climate change on nitrogen biogeochemistry in forest ecosystems: A synthesis from Japanese case studies // Ecological Indicators. 2016. Vol. 65. P. 4–9.

Поступила в редакцию 09.01.2018

После доработки 24.04.2019

Принята к публикации 24.05.2019

I.A. Avessalomova¹, A.N. Ivanov²

BIOGEOCHEMISTRY OF LANDSCAPES OF THE MATUA ISLAND (CENTRAL KURIL ISLANDS)

A significant landscape-geochemical diversity of Matua Island is shown, which is determined by active volcanic activity, ocean influence and the intensity of modern exogenous processes. The biogeochemical heterogeneity of catenas is increasing due to the complexity of vegetation cover and the proximity of elementary landscapes with different types of biological cycle. The phytomass of the grass layer and the stock of ash elements in it, as well as the ability of plants to absorb microelements, were chosen as indicators of the bioproduction process. It has been revealed that the production of phytomass is higher in large-grass and fern alders than in reed grass and barley meadows. With a general tendency to the accumulation of cationic elements (Mn, Cu, Zn), the biogeochemical activity of alder, large grass and ferns is higher compared to boreal shrubs, grasses and sedges. Along with the species specialization of plants, the involvement of elements into the biological cycle is corrected by the ecological and geochemical characteristics of the habitats.

Key words: Kuril Islands, the Matua Island, geochemical landscapes, diversity, bioproductivity, biogeochemical activity of plants

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Geographical Society (project № 02/2017-R).

REFERENCES

Avessalomova I.A., Ivanov A.N., Savenko A.V. Vodnaya migratsiya himicheskikh jelementov v landshaftah vulkanicheskikh ostrovov Central'nyh Kuril (na primere o. Matua) [Water migration of chemical elements in the landscapes of volcanic islands of the Central Kurils (case study of the Matua Island)] // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografija. 2018. № 1. P. 73–80. (In Russian)

Baburin A.A., Kol'cova A.G. Zol'nost' rastenij taezhnyh i hvojno-shirokolistvennyh landshaftov Dal'nego Vostoka [Ash content of plants of taiga and coniferous-broadleaf landscapes of the Far East] // Landshafty Juga Dal'nego Vostoka. Novosibirsk: Nauka, 1973. P. 68–73. (In Russian)

Bazilevich N.I. Produktivnost', jenergetika i biogeohimija nazemnyh jekosistem Tihookeanskogo kol'ca [Productivity, energy

and biogeochemistry of terrestrial ecosystems of the Pacific Rim] // Voprosy Geografii. Sb. 17. Geofizika Landshafta. M.: Mysl', 1981. P. 146–208. (In Russian)

Bazilevich N.I., Titljanova A.A. Bioticheskij krugovorot na pjati kontinentah: azot i zol'nye jelementy v prirodnyh nazemnyh jekosistemah [Biotic cycle on five continents: nitrogen and ash elements in natural terrestrial ecosystems]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2008. 381 p. (In Russian)

Degterev A.V. Petrohimicheskie osobennosti produktov sovremennyh izverzenij vulkana Pik Sarycheva, ostrov Matua (Kurily) [Petrochemical features of modern eruption products of the Sarychev Peak volcano, the Matua Island (the Kurils)] // Vestnik DVO RAN. 2011. № 6. P. 94–99. (In Russian)

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

² 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

- Dobrovolskij V.V.* Osnovy biogeohimii [Basics of biogeochemistry] M.: Vysshaja shkola, 1998. 413 p. (In Russian)
- Furaev E.A.* Geohimija landshaftov ostrova Kunashir (Kuril'skie ostrova) [Geochemistry of the Kunashir Island landscapes (Kuril Islands)]. M.: Prometej, 2013. 181 p. (In Russian)
- Glazovskaja M.A.* Geohimicheskie osnovy tipologii i metodiki issledovanij prirodnyh landshaftov [Geochemical basics of typology and methods of natural landscapes investigation]. Smolensk: Ojkumena, 2002. 287 p. (In Russian)
- Grishin S.Ju., Terehina N.V.* Rastitel'nyj pokrov ostrova Matua (Kuril'skie ostrova) [Vegetation cover of the Matua Island (Kuril Islands)] // Komarovskie Chtenija. 2012. V. LIX. P. 188–229. (In Russian)
- Ignatenko N.V., Pugachev A.A.* Dinamika rastitel'noj massy i biologicheskij krugovorot v gornotundrovnyh i kedrovostlanikovnyh landshaftah Severnogo Ohotomora [The dynamics of plant mass and the biological cycle in the mountain tundra and cedar-dwarf-pine landscapes of the Northern Sea of Okhotsk area] // Biologicheskij Krugovorot v Tundrol'sjah Juga Magadanskoj Oblasti. Vladivostok: DVNC AN SSSR, 1979. P. 92–124. (In Russian)
- Ikegami N., Satake T., Nagayama Y., Inubushi K.* Biogeochemical Si cycling in bamboo forests with evergreen broad-leaved forest and coniferous forest in a temperate climate // Japanese Journal of Forest Environment. 2015. Vol. 57. № 1. P. 7–17.
- Ivanov A.N.* Osobennosti landshaftnoj struktury ostrova Matua (Central'nye Kurily) [Specific features of landscape structure of the Matua Island (Central Kurils)] // Izvestija Russkogo Geograficheskogo Obshhestva. 2017. V. 149. № 5. P. 26–35. (In Russian)
- Ivanov A.N., Avessalomova I.A.* Landshaftno-geohimicheskie osobennosti ornitogennyh geosistem Jamskih ostrovov (Ohotskoe more) [Landscape-geochemical features of ornithogenic geosystems of the Yamskie Islands (the Sea of Okhotsk)] // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografija. 2008. № 2. P. 35–42. (In Russian)
- Ivlev A.M.* K voprosu o biogeohimicheskom rajonirovanii o. Sahalin [To the question of biogeochemical zoning of the Sakhalin Island] // Landshafty Juga Dal'nego Vostoka. Novosibirsk: Nauka, 1973. P. 107–115. (In Russian)
- Mizuno T., Horie K., Nosaka S. et al.* Serpentine Plants in Hokkaido and their Chemical Characteristics // Northeastern Naturalist. 2009. Vol. 16. P. 65–80.
- Morozov V.L.* Zapasy nadzemnoj i podzemnoj fitomassy krupnotrav'ja i ego dominantov na Sahaline [Stocks of aboveground and underground phytomass of large grass and its dominants on the Sakhalin Island] // Botanicheskij Zhurnal. T. 63. № 3. 1978. P. 381–387. (In Russian)
- Perel'man A.I.* Geohimicheskij landshaft kak samoorganizujushhajasja sistema [Geochemical landscape as a self-organizing system] // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografija. 1995. № 4. P. 10–16. (In Russian)
- Perel'man A.I.* Geohimija landshafta [Landscape Geochemistry] M.: Vysshaja Shkola, 1975. 339 p. (In Russian)
- Poberezhnaja T.M., Veselov O.V.* Jekologicheskie issledovanija na styke biologicheskij i geologicheskij nauk [Ecological investigations at the junction of biological and geological sciences] // Vestn. DVO RAN. 2011. № 6. P. 43–47. (In Russian)
- Pugachev A.A.* Biologicheskij krugovorot i pochvoobrazovanie v landshaftah Krajnego Severo-Vostoka Rossii [Biological cycle and soil formation in landscapes of the Extreme Northeast of Russia]. Magadan: SVNC DVO RAN, 2009. 116 p. (In Russian)
- Shibata H.* Impact of winter climate change on nitrogen biogeochemistry in forest ecosystems: A synthesis from Japanese case studies // Ecological Indicators. 2016. Vol. 65. P. 4–9.
- Stepanova K.D., Belaja G.A., Kachura N.N. et al.* Biologicheskaja produktivnost' lugovyh soobshhestv Dal'nego Vostoka (priokeanicheskie rajony) [Biological productivity of meadow communities of the Far East (near oceanic areas)]. M.: Nauka, 1981. 228 p. (In Russian)
- Urusov V.M.* Geografija i paleogeografija vidoobrazovanija v Vostochnoj Azii (sosudistye rastenija) [Geography and paleogeography of speciation in East Asia (vascular plants)]. Vladivostok: TIG DVO RAN, 1998. 167 p. (In Russian)
- Vinogradov A.P.* Srednee sodержanie himicheskij jelementov v glavnyh tipah izverzhennyh gornyh porod zemnoj kory [Average concentrations of chemical elements in the main types of effusive rocks of the Earth's crust] // Geohimija. 1962. № 7. P. 555–571. (In Russian)
- Zaharihina L.V., Litvinenko Ju.S.* Geneticheskie i geohimicheskie osobennosti pochv Kamchatki [Genetic and geochemical features of soils of the Kamchatka Peninsula]. M.: Nauka, 2011. 245 p. (In Russian)

Received 09.01.2018

Revised 24.04.2019

Accepted 24.05.2019