

Биогеохимические и анатомические особенности растений в местах проявления современного вулканизма

Т. М. ПОБЕРЕЖНАЯ, А. В. КОПАНИНА

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН
693022, Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б
E-mail: ptm@imgg.ru

АННОТАЦИЯ

На примере действующего вулкана Менделеева на острове Кунашир обнаружено, что выходы на поверхность вулканических газов и кислых термальных вод влияют на геохимические особенности почв и растительность окружающих ландшафтов. Некоторые виды растут на горячем субстрате, накапливают тяжелые металлы, редкие и рассеянные элементы, которыми обогащены материнские породы, сохраняя полную жизнеспособность. Показано, как на анатомическом уровне у древесных растений происходит адаптация к специфическим экологическим условиям в местах выхода на поверхность вулканических газов и термальных источников.

Ключевые слова: сольфатарное поле, микроэлементы, биоаккумуляция, структурная реакция, кора, вторичная флоэма.

Активная вулканическая деятельность создает специфические экологические условия в окружающих ландшафтах, прежде всего высокие температуры в почвах и приземном слое атмосферы, а также насыщает их токсичными газами, редкими и рассеянными химическими элементами. В связи с этим основная цель работы – изучение особенностей микроэлементного состава растений и их структурной реакции в местах проявления современного вулканизма.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на вулкане Менделеева, расположенном на юге о-ва Кунашир, относящегося к Большой Курильской гряде. Вулкан извергался последний раз в 1880 г., в настоящее время находится в активной фумарольно-сольфатарной стадии [1].

На его склонах существует несколько сольфатарных полей и выходов на поверхность термальных источников. Сольфатары – струи газов, содержащие главным образом сероводород и сернистый газ. Температура этих парогазовых струй иногда превышает 115 °С. В источниках термальных вод температура достигает 80–90 °С. Места выхода сольфатар лишены растительного покрова, растительный покров вокруг термальных источников сложен сообществами с участием термофильных злаков, ряда деревьев, лиан и кустарников. В качестве объектов изучения выбраны веероцветник китайский *Miscanthus sinensis* Anderss., бамбучник курильский *Sasa kurilensis* (Rupr.) Makino et Shibata и гортензия метельчатая *Hydrangea paniculata* Siebold. Именно эти растения наиболее массово встречаются на обследованных сольфатарно-гидротермальных источниках вулкана Менделеева и произрастают либо непосредственно на сольфатарных полях, либо у бортов термальных выходов.

Побережная Татьяна Михайловна
Копанина Анна Владимировна

При биогеохимических исследованиях полевые наблюдения и отбор образцов материнских горных пород, почв и растений проведены по методике, используемой при ландшафтно-геохимических исследованиях [2].

Образцы для микроэлементного анализа золы *Miscanthus sinensis* отобраны на восточном сольфатарном поле, *Sasa kurilensis* – на нижнеменделеевском термальном источнике, *Hydrangea paniculata* – на столбовских термальных источниках. Для сравнения с фоном биогеохимические образцы *Hydrangea paniculata* и *Sasa kurilensis* отбирали также на участках, где отсутствуют проявления вулканической активности. *Miscanthus sinensis* за пределами сольфатарных полей нами, как и другими исследователями [3], не встречен, поэтому оценка его биогеохимических особенностей в экстремальных условиях обитания проводилась путем сравнения содержаний микроэлементов в золе растения и в материнской породе. У *Hydrangea paniculata* в пробу на озоление и последующий микроэлементный анализ отобраны побеги текущего вегетационного сезона как физиологически активная часть растения, в которой накапливаются химические элементы [4]. У *Sasa kurilensis* в пробу отбирали над- и подземную часть, у *Miscanthus sinensis* – только надземную.

Для определения содержания микроэлементов в почвенных образцах и золе растений использовался метод спектрографического анализа массовой доли 37 элементов на спектрографе СТЭ-1 и ИСП-30. Аналитические работы выполнены в аккредитованной Госстандартом России лаборатории Дальневосточного филиала ФГУ НПП “Росгеолфонд” (г. Южно-Сахалинск).

Для структурного анатомического анализа отобраны образцы разновозрастных стеблей *Hydrangea paniculata* в контрастных местообитаниях: в хвойно-широколиственном высокотравном сообществе вблизи гидротермальных выходов горячих минеральных столбовских источников и в ельнике кустарниково-лизихитовом с берегов оз. Серебряного (контрольный участок).

Взятые образцы стеблей зафиксированы и подготовлены для анализа по общепринятой в анатомии растений методике [5, 6]. Собранный материал фиксировали в день сбора в смеси 96 % этилового спирта и глице-

рина в соотношении 3 : 1. Из фиксированного материала на санном микротоме с замораживающим столиком готовили поперечные и продольные (тангентальные и радиальные) срезы толщиной 15–20 мкм в 10–20-кратной повторности каждый, которые окрашивали регрессивным методом сафранином и нильским синим с последующей отмывкой в растворах этилового спирта и заключительным обезвоживанием в карболксилале и ксилале. После этой процедуры срезы были готовы для фиксации в канадском бальзаме. Анализ микропрепаратов осуществляли на фотонных микроскопах “Микмед-6”. Микрофотографии выполняли с помощью цифровой фотокамеры Canon PowerShot-520. Биометрические параметры измеряли, используя винтовой окуляр-микрометр МОВ-1-16. Полученные результаты обрабатывали методами вариационной статистики в электронных таблицах Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ландшафтно-геохимические исследования позволили выявить особенности миграции и биоаккумуляции микроэлементов (МЭ) в специфических “прогретых” ландшафтах, формирующихся в местах выхода на поверхность сольфатар и высокотемпературных минерализованных вод.

В условиях сольфатарных полей, где воздух насыщен сероводородом и сернистым газом, на горячем субстрате повсеместно произрастает *Miscanthus sinensis*. Отметим, что экземпляры *Miscanthus sinensis*, растущие максимально близко к парогазовым выходам, не имеют повреждений и структурных нарушений. Древесные растения даже на удалении от сольфатарных полей заметно угнетены, имеют некрозы на листьях и стеблях. В экстремальных экологических условиях, создаваемых вулканической активностью, у *Miscanthus sinensis* выявлена интенсивная аккумуляция фосфора, серебра, лантана и олова (табл. 1). Кроме этих элементов в золе растения сравнительно с подстилающим субстратом накапливаются марганец, медь, стронций, мышьяк, цинк. Фосфор, марганец, цинк, медь известны своей биофильностью [7], накопление же *Miscanthus sinensis* таких элементов, как серебро, лантан, олово, стронций, мышьяк, мы связываем с их повышенными кон-

центрациями в подстиляющем субстрате и, возможно, с видовыми биогеохимическими особенностями растения. Эти особенности, вероятно, являются причиной биологического порога поглощения ряда химических элементов (Sc, V, Ga, Ba, Y, Ti, Mo), несмотря на то, что, по нашим данным, они привносятся в подстиляющий субстрат с вулканическими парогидротермами в повышенных количествах [8].

Места выходов на поверхность термальных источников вулкана Менделеева отличаются от сольфатарных полей меньшей насыщенностью атмосферы токсичными газами и меньшим прогреванием субстрата, что позволяет произрастать здесь различным видам растений.

На столбовских термальных источниках температура воды на выходе около 90 °С. Почвенный разрез и *Hydrangea paniculata* опробованы непосредственно над основным выходом термальных вод. Отличительной особенностью этого разреза является выход вулканических газов через небольшие грифоны прямо в почвенные горизонты. Стенки грифонов покрыты белоснежным налетом серы, образующейся в результате деятельности серобактерий, окисляющих газообразные соединения серы (H₂S, SO₂), поступающие по грифонам [9]. Согласно данным Г. А. Заварзина, серобактерии относятся к роду *Thiospirillum pistiense*, их развитие начинается при температуре 80 °С, а при температуре ниже 70 °С они покрываются снежно-белым налетом серы [10]. Это указывает на весьма высокие температуры в корнеобитаемом слое исследуемого растения.

Восходящие парогидротермы помимо серосодержащих соединений несут к поверхности разнообразные микроэлементы, восстановленные формы железа и марганца, которые, попадая в близповерхностные кислородсодержащие рыхлые горизонты, окисляются и осаждаются в виде окислов и гидроокислов, окрашивая их в охристые (Fe) и черные цвета (Mn). В почвах совместно с Mn (до 10 % !) осаждаются Zn (до 1 %), а также, мг/кг: Y (до 160), Pb (до 80), P (до 1000), Cu (до 200), As (до 100), Sn (до 10), Cd (до 5). Совместно с Fe осаждаются, мг/кг: As (до 600), Pb (до 100), Ba (до 1300), Mo (до 2), Zn (до 250), Sn (до 3).

Данные, полученные по микроэлементному составу золы, показывают, что *Hydrangea*

paniculata, произрастающая над термальным источником, обогащена по сравнению с фоновым растением элементами, содержащимися в аномальных количествах в подстиляющем субстрате, – P, Pb, Mn (см. табл. 1). Отмечается незначительное превышение относительно фона содержаний Cr, Zn, Zr, V – элементов, активно участвующих в процессах гидротермального преобразования материнского субстрата [8]. С другой стороны, зола *Hydrangea paniculata* на термопроявлении обеднена относительно подстиляющего субстрата многими МЭ, связанными с этим процессом, – Y, As, Ba, Sc. Можно предположить видовую биогеохимическую особенность *Hydrangea paniculata* порогового поглощения этих элементов. Интересен факт обеднения растения, произрастающего в местах выхода вулканических терм, по сравнению с контролем молибденом, титаном, галлием, медью, оловом. Для его объяснения необходимо провести дополнительные исследования. Можно лишь предположить, что пониженное поглощение этих МЭ связано с особенностями адаптации вида к экстремальным условиям местобитания на вулканическом термопроявлении.

Изучение распределения МЭ в золе *Sasa kurilensis*, произрастающего непосредственно над выходом нижнеменделеевских термальных источников и за его пределами, также указывает на специфическую биогеохимию вида в местах выхода на поверхность термальных источников. Зола *Sasa kurilensis* на термопроявлении обогащена многими химическими элементами по сравнению с фоновым образцом – Ba, As, Sc, Mn, Y, Ti, Be, Cr, P, Zn, Zr. Необходимо отметить накопление в золе *Sasa kurilensis* термального источника и в контроле относительно подстиляющего субстрата P, Mn, Ag, Cr. Это позволяет говорить о видовой способности *Sasa kurilensis* биоаккумуляции указанных элементов независимо от места произрастания. Накопление же в золе *Sasa kurilensis*, произрастающего на термопроявлении, относительно фоновых экземпляров остальных элементов является следствием специфических геохимических условий в экотопе нижнеменделеевского термального источника. *Sasa kurilensis* на термопроявлении имеет угнетенный вид, выражающийся в значительном уменьшении высоты растений, уменьше-

Содержание химических элементов в золе растений на сольфатарных полях и термальных источниках вулкана Менделеева, мг/кг

<i>Miscanthus sinensis</i>				<i>Hydrangea paniculata</i>				<i>Sasa kurilensis</i>			
МЭ	Растение	Порода	КК	МЭ	Терм. ист.	Фон	КК	МЭ	Терм. ист.	Фон	КК
P	10000	Н.о.	>40	P	13 000	5000	2,6	Ba	200	Н.о.	>8
Ag	1,6	0,1	16	Pb	50	20	2,5	Ag	0,4	0,06	6,7
La	50	Н.о.	>5	Mn	10 000	6000	1,7	Sc	6	Н.о.	>6
Sn	5	1	5	Cr	4	3	1,3	Mn	20 000	5000	4
Mn	2500	1000	2,5	Zn	130	100	1,3	Y	3	Н.о.	>3
Cu	100	40	2,5	Zr	130	100	1,3	Ti	1300	600	2,2
Sr	30	Н.о.	>2	V	20	16	1,2	Be	1	Н.о.	>2
As	30	»	>2	Ag	0,4	0,4	1	Cr	40	20	2
Zn	200	100	2	Ni	10	10	1	P	8000	5000	1,6
Ni	10	10	1	Sn	1,3	1,6	0,8	Zn	160	100	1,6
Cr	16	16	1	Cu	100	130	0,8	Zr	130	80	1,6
Be	1	1	1	Ga	1,3	2	0,6	V	30	25	1,2
Zr	60	80	0,8	Ti	400	800	0,5	Pb	16	16	1
Pb	20	30	0,7	Mo	0,5	2	0,2	Sn	1	1,3	0,8
Mo	3	5	0,6	Ba	Н.о.	Н.о.	-	Cu	80	100	0,8
Ti	1000	3000	0,3	Be	»	»	-	Ga	4	10	0,4
Y	8	25	0,3	Y	»	»	-	Ni	10	30	0,3
Ba	60	200	0,3	Sc	»	»	-	Mo	0,8	3	0,3
Ga	2	13	0,2	As	»	»	-	As	Н.о.	Н.о.	-
V	10	80	0,1	La	»	»	-	La	»	»	-
Sc	Н.о.	30	<0,1	Sr	»	»	-	Sr	»	»	-

Примечание. Н.о. – не обнаружено (содержание МЭ ниже чувствительности анализа); КК – коэффициент концентрации (отношение содержания МЭ в изучаемом растении к его содержанию в материнской породе или в фоновом образце).

нии числа скелетных осей и размеров листовых пластинок. Можно сделать предположение, что некоторые элементы, в избытке поглощаемые растением, оказывают на него неблагоприятное воздействие. К ним мы отнесли те, которых в золе *Sasa kurilensis*, произрастающего над термальным источником, содержится больше, чем в золе растения с фонового участка, но меньше, чем в подстилающем субстрате (биологический порог поглощения?), – это Y, Sc, V.

Отмечено почти полное совпадение у *Sasa kurilensis* и *Hydrangea paniculata* спектра МЭ, биологическое поглощение которых ограничено в местах выхода на поверхность вулканических парогидротерм в сравнении с контролем – Mo, (Ni), Ga, Cu, Sn (см. табл. 1). На данном этапе исследований представляется возможным объяснить такое явление специфическими геохимическими условиями местообитания – большим содержанием серы, железа, марганца и некоторых микроэлементов. Эти условия благоприятны для проявления антагонизма между химическими элементами, например Mo с Mn и S, Cu с Zn и Fe [7]. В экспериментах с питательными средами явление антагонизма ионов обнаружено давно, классический пример – антагонизм Fe и Mn. Взаимодействие минеральных элементов начинается во внешней питательной среде, увеличение концентрации одного из ионов может привести к снижению поглощения других минеральных элементов, в том числе основных микроэлементов. В экспериментах показано, например, что изменение уровня Zn в питательном растворе существенно снижало содержание Ca, Mg, Na, K, Ni и Co, ингибировало накопление N, P, K, Ca [11]. Таким образом, в условиях вулканических ландшафтов, которые по многим параметрам идентичны техногенным, можно проследить, как насыщенность материнского субстрата многими химическими элементами и соединениями неоднородно влияет на их биологическое поглощение. В таких условиях “геохимического” разнообразия нет прямой зависимости между содержанием МЭ в подстилающем материале и степенью его биоаккумуляции растениями. Это необходимо учитывать при биогеохимических методах оценки загрязнения окружающей среды.

Сравнительный структурный анализ коры разновозрастных (однолетнего, дву-, трех- и многолетнего) стеблей *Hydrangea paniculata*, произрастающей непосредственно над парогазовым выходом гидротермы столбовских источников, позволил выявить комплекс адаптивных структурных признаков. Растения имели полную жизненность, отсутствовали морфоструктурные нарушения скелетных осей и генеративных побегов. Повреждения в виде температурных ожогов отмечены на листьях и молодых стеблях текущего года.

Общая схема строения стебля типичная [12]. Начиная от центра, расположены следующие ткани: сердцевина, занимающая более 50 % однолетнего стебля, первичная ксилема в составе коллатеральных проводящих пучков, вторичная ксилема, камбий, кора. Кора однолетнего стебля к концу вегетационного сезона имеет следующий тканевый состав: вторичная флоэма; фрагменты деформированной в основном в результате дилатации первичной флоэмы, сформированной пучковым прокамбием; феллодерма; феллоген; феллема; деформированные и отмершие первичная кора, колленхима и эпидерма.

Наши исследования позволили дополнить выявленные ранее особенности анатомического строения коры однолетнего стебля [13]. Специфическими чертами однолетнего стебля *Hydrangea paniculata* являются: раннее отмирание паренхимы первичной коры за счет заложения и активной деятельности феллогена; наличие кольцевой зоны секреторных слизевых клеток в периферической части вторичной флоэмы, два типа рафидо-содержащих клеток в аксиальной паренхиме – парен- и прозенхимные; ситовидные трубки четырех-, пятиугольные в поперечном сечении; ситовидные пластинки имеют плотно расположенные по всей площади эллипсоидные ситовидные поля; лучи линейные гомогенные палисадные и палисадно-гетерогенные с двурядными участками квадратных клеток и с длинными однорядными окончаниями; гетерогенные лучи чаще двурядные, в них чередуются 1–10-слойные группы лежащих клеток и однорядные участки стоячих клеток; лучевая паренхима кристаллов оксалата Ca не содержит; лигнифицированных элементов нет; склеренхимные волокна отсутствуют.

С возрастом в коре значительно увеличивается доля вторичной флоэмы, в которой разрастаются слизевые клетки, а в непродвинутой части дилатирует паренхима и незначительно лигнифицируются клеточные стенки кристаллоносных клеток, а также очень редко образуются группы брахисклерейд. Уже со второго года претерпевает существенные изменения феллема, клетки которой заполняются бурым содержимым. В связи с этим слой прироста феллемы текущего года четко выделяется тонкостенными клетками, лишенными темноокрашенных включений.

К окончанию вегетационного сезона стебли с термальных источников имеют в составе периферической части коры ткани первичного происхождения различной степени деформации: эпидерма, колленхима, паренхима первичной коры (табл. 2). Образцы с термопроявлений покрыты эпидермой, отмершей, но не потерявшей своей целостности (см. рисунок). Далее, в глубь стебля, расположена колленхима, клетки которой имеют незначительные утолщения и близки по типу к пластинчатой. Паренхима первичной коры гетерогенная и включает мелкоклеточную паренхимную ткань и зону слизевых клеток. Таким образом, в коре выделяются две секторные зоны: основная во вторичной фло-

эме и вторая, снижающая со временем свою функциональную значимость, в паренхиме первичной коры.

В условиях терм феллоген формирует феллему с меньшим числом слоев, но более крупноклеточную, при этом число слоев феллодермы не меняется (3–4). Клетки феллодермы стеблей с термальных источников расположены более рыхло, их форма округло-овальная.

Структурные изменения вторичной флоэмы связаны с уменьшением общей ширины ткани как в молодом стебле, так и в ствольной части, при этом число клеток в радиальном ряду годового прироста не меняется. Ситовидные трубки контактируют с аксиальной паренхимой, клетками-спутниками или по одной из граней с лучевой паренхимой.

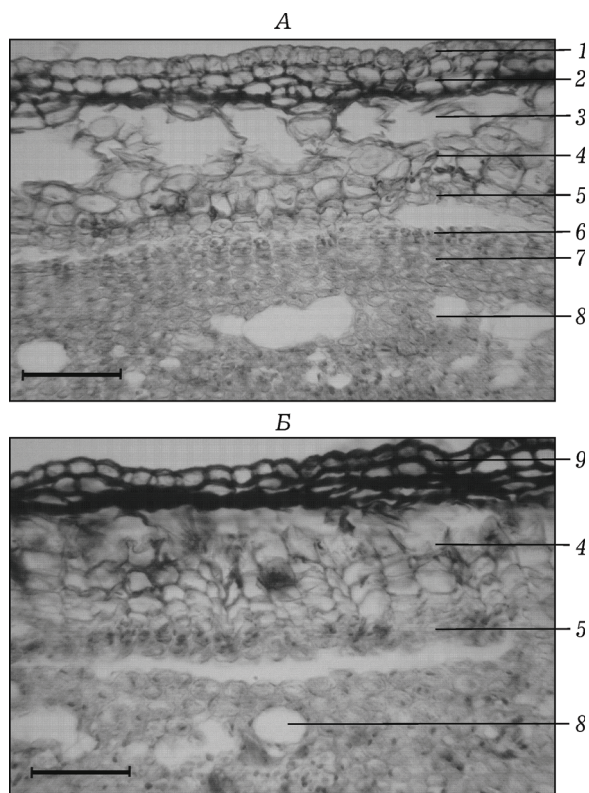
В аксиальной паренхиме число кристаллоносных клеток, содержащих рафиды, увеличивается почти в 4 раза. Число и диаметр слизевых клеток не изменяются, но в стеблях с терм преобладают одиночные клетки, окруженные паренхимой. В стеблях из нормальных условий слизевые клетки вторичной флоэмы объединяются по 3–4 в крупные секторные зоны, расположенные практически по всей толще проводящей флоэмы.

Тип лучей не изменяется под действием факторов термальных источников, но коли-

Т а б л и ц а 2

Количественная характеристика компонентов стебля *Hydrangea paniculata*

Показатель	Пункты отбора образцов	
	Столбовские термальные источники	Оз. Серебряное (норма)
Диаметр однолетнего стебля, мкм	1070±21,5	5050±75,0
Общая ширина коры однолетнего стебля, мкм	210±5,6	425±15,0
Число слоев колленхимы, шт.	2–3	–
Ширина первичной коры, мкм	44±0,2	–
Число клеток феллемы в радиальном ряду однолетнего стебля, шт.	5–6	8±0,02
Число клеток пробки в радиальном ряду ствольной части, шт.	6–8	6–8
Ширина годового прироста феллемы, мкм	159±2,7	132±1,5
Ширина вторичной флоэмы однолетнего стебля, мкм	82±1,5	107±1,8
Общее число клеток флоэмы в радиальном ряду однолетнего стебля, шт.	10±0,1	9±0,1
Ширина проводящей вторичной флоэмы ствольной части, мкм	127±1,8	250±5,8
Радиальный диаметр ситовидных трубок ствольной части, мкм	20±0,7	21±0,7
Длина членика ситовидных трубок, мкм	190±2,8	156±1,4
Число кристаллоносных клеток на 1 мм ² , шт.	27±0,3	6±0,01
Общее число флоэмных лучей на 1 мм поперечного среза, шт.	12±0,2	9±0,01
Число однорядных флоэмных лучей на 1 мм поперечного среза, шт.	7–10	5±0,06
Число многорядных флоэмных лучей на 1 мм поперечного среза, шт.	1–4	2–3



Строение коры однолетнего стебля *Hydrangea paniculata* в условиях термы (А) и нормы (Б):

1 – эпидерма, 2 – колленхима, 3 – слизевые клетки в паренхиме первичной коры, 4 – феллема, 5 – формирующиеся клетки пробки, 6 – феллоген, 7 – феллодерма, 8 – слизевые клетки во вторичной флоэме, 9 – отмершие части первичной коры. Масштабная линейка 0,1 мм

чественное соотношение дву- и однорядных лучей меняется. В одно- и многолетних стеблях с терм незначительно увеличивается число однорядных гомогенно-палисадных лучей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В районах проявления современной вулканической деятельности формируются специфические экологические условия. В местах выхода на поверхность термальных источников и парогазовых струй атмосферный воздух и подстилающий субстрат отличаются от окружающих биотопов повышенной температурой и серосодержащими газами. Материнский субстрат характеризуется также аномально высокими концентрациями многих химических элементов. Специфические экологические факторы влияют на биоаккумуляцию и внутреннее строение растений. Каж-

дый вид по-своему биогеохимически и структурно адаптируется к необычным условиям обитания, но можно выявить ряд общих закономерностей.

1. Накопление в золе разных видов растений, произрастающих в местах проявления вулканической деятельности, относительно материнского субстрата Mn, P, Ag и относительно контрольных образцов – Mn, P, Cr, Zn, Zr. Это связано с геохимическими особенностями материнского субстрата и с сильнокислой восстановительной средой, благоприятной для образования подвижных форм элементов и их поглощения растениями на сольфатарных полях и термопроявлениях.

2. Обеднение золы изученных растений относительно субстрата такими химическими элементами, как Y, Sc, V, Ti, Ba. Биогеохимия трех последних элементов хорошо изучена – они в целом относятся к элементам среднего, слабого и очень слабого захвата [2]. Наши данные позволяют отнести к этой группе элементов и малоизученные редкие элементы Y и Sc.

3. Обеднение золы растений вулканических ландшафтов относительно контроля Mo, Cu, Ga, Sn. Очевидно, что специфические геохимические условия местообитания – высокие содержания серы, железа, марганца и др. микроэлементов – способствуют проявлению антагонизма между химическими элементами, например Mo с Mn и S, Cu с Zn и Fe, и делают указанные химические элементы менее доступными для растений.

4. Характер воздействия на анатомию коры специфических факторов гидротерм аналогичен другим экологическим факторам – свету, влаге, загрязнению. Все изменения внутреннего строения носят преимущественно количественный характер: проанализированные показатели достоверно уменьшаются в направлении градиента физико-химического фактора. Результаты структурного анализа подтверждают вывод об отсутствии видоспецифичности в воздействии физико-химических факторов на внутреннюю структуру растения.

5. Уменьшение мощности практически всех тканевых комплексов коры стебля, а также отдельных клеточных элементов можно объяснить двумя причинами: уменьшением ассимиляционной поверхности и, как следст-

вие, снижением интенсивности физиологических процессов, а именно фотосинтеза.

6. Особенно значительны структурные перестройки в первые годы нарастания стебля. Выражено запаздывание формирования феллогена, при этом сохраняют функциональное значение эпидерма и отдельные элементы первичной коры.

7. Функциональность защитных структур коры повышается за счет развития секреторных вместилищ и ходов благодаря сохраняющейся секреторной зоне в первичной коре, а также благодаря увеличению числа кристаллов оксалата Са. Хотя интенсивность склерификации паренхимных тканей снижается.

8. Заметно повышается структурно-функциональная сопряженность тканей, наиболее ярко выражающаяся в усилении взаимодействия паренхимных тканей с проводящими элементами флоэмы, секреторными клетками, вместилищами и каналами. Усиление контакта проводящих элементов с паренхимными тканями особенно отчетливо выражается в преобладании гомогенных палисадных флоэмных лучей.

Работа поддержана грантом РФФИ, № 07-04-00881, грантами ДВО РАН №07-III-Д-06-067 и 07-III-Д-06-060.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курильские острова (природа, геология, землетрясения, вулканы, история, экономика). Южно-Сахалинск, 2004. 226 с.
2. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М.: Астрей-2000, 1999. 768 с.
3. Алексеева Л. М. Флора острова Кунашир. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1983. 132 с.
4. Надеин А. Ф., Тарханов С. И., Правдина И. Г. Миграция серы и тяжелых металлов в древесных растениях лесных экосистем вблизи Архангельска // Экологическая химия. 2004. Т. 13, № 3. С. 181–185.
5. Прозина М. Н. Ботаническая микротехника. М.: Высш. шк., 1960. 130 с.
6. Юрцев В. Н., Пухальский В. А. Методическое руководство к лабораторно-практическим занятиям по цитологической и эмбриологической микротехнике. М.: Сельхоз. академия им. К. А. Тимирязева, 1968. 113 с.
7. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
8. Жарков Р. В., Побережная Т. М. Влияние сольфатарно-гидротермальной деятельности вулканов на компоненты ландшафтов (влк. Менделеева, о-в Кунашир, Курильские о-ва) // Вестник ДВО РАН. 2008. № 1. С. 53–58.
9. Заварзин Г. А. Эволюция геосферно-биосферной системы // Природа. 2003. № 1. С. 27–35.
10. Заварзин Г. А. Бактерии на вулканах // Природа. 1973. № 7. С. 66–71.
11. Растения в экстремальных условиях минерального питания. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1983. 176 с.
12. Еремин В. М., Копанина А. В. Особенности анатомической структуры стебля *Hydrangea paniculata* в условиях гидротерм и сольфатар вулкана Менделеева (о-в Кунашир) // Проблемы и достижения в геологических и геофизических исследованиях в зоне Курильских островов и Хоккайдо: сильные землетрясения, цунами и извержения вулканов: тез. докл. Междунар. науч. симпоз. Южно-Курильск: ИМГиГ ДВО РАН, 2007. С. 46–49.
13. Еремин В. М., Цырендоржиева О. Ж. Сравнительная анатомия стебля лиан Сахалина и Курил. Южно-Сахалинск: САХГУ, СФ БС ДВО РАН, 2007. 173 с.

Biogeochemical and Anatomic Features of Plants in the Sites of Modern Volcanism

T. M. POBEREZHNYAYA, A. V. KOPANINA

*Institute of Sea Geology and Geophysics FEB RAS
693022, Yuzhno-Sakhalinsk, Nauki str., 1B
E-mail: ptm@imgg.ru*

For the example of the active volcano Mendeleev at the Kunashir island, it was discovered that the emergence of volcanic gases and acidic thermal water on the surface affects the geochemical features of soil and vegetation in the surrounding landscapes. Some species grow on hot substrate, accumulate heavy metals, rare and scattered elements with which the parent rocks are enriched, and conserve full vitality. It is demonstrated how adaptation to specific ecological conditions occurs in woody plants at the anatomic level in the sites of emergency of volcanic gases and thermal springs.

Key words: solfataric field, microelements, bioaccumulation, structural reaction, crust, secondary phloem.