

УДК 574.42+574.472+581.524.3(571.642)

РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ МОЛОДЫХ ГРЯЗЕВЫХ ПОЛЕЙ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА МАГУНТАН (о. САХАЛИН)

К.А. Корзников

(кафедра геоботаники; e-mail: korzkir@mail.ru)

Приведены результаты изучения растительных сообществ молодых грязевых полей вулкана Магунтан, выполненного на линейной трансекте протяженностью 77 м. Видовой состав исследованных сообществ небогат и насчитывает всего 8 видов сосудистых растений. Флористическое богатство и разнообразие состава сообществ постепенно увеличиваются вдоль комплексного градиента условий от центра к периферии вулкана. В сложении растительного покрова высока степень участия узкоэндемичных таксонов — *Deschampsia tzevelevii*, *Primula sachalinensis*, *Gentianella sugawarae*. Они сменяют друг друга в роли доминантов по мере удаления от эруптивного центра вулкана и исчезают на его периферии.

Ключевые слова: грязевые вулканы, эндемизм, биоразнообразие, первичная сукцессия, состав сообществ, Сахалин.

Сведений в литературе о составе, структуре и динамике наземных экосистем грязевых вулканов немного. Изучены растительность и почвообразование на грязевых вулканах Крымского п-ва [1, 2], видовое разнообразие участков тропического леса, окружающего грязевой вулкан на острове Калимантан [3]. Гораздо более полно освещены вопросы формирования и существования сообществ в условиях влияния других объектов эндогенной геологической активности — геотермальных полей, гейзеров и вулканов магматической природы. Известны исследования Р. дель Мораль [4] о механизмах восстановления растительного покрова на субстратах, возникших после извержения вулкана Святой Елены (Mount St. Helens) в США.

На Сахалине известно три места проявления грязевого вулканизма. Самым крупным вулканом является Магунтан (Центральный) из группы Пугачевских грязевых вулканов. Он расположен в 3 км к западу от берега Охотского моря на дне пологой чашеобразной котловины и окружен лиственничным лесом [5]. Координаты центра: 48°13'41" с.ш., 142°33'51" в.д. Высота над ур. моря центра вулкана — 58 м, примыкающих к лиственничнику, частично заболоченных окраин старых грязевых полей — 55 м, большая часть территории вулкана имеет абсолютную отметку высот 57 м. Продолжительные стадии спокойного истечения сопочных брекчий раз в 1—2 года прерываются несильными извержениями, а раз в 70 лет извержениями большой мощности [6]. Последнее сильное извержение произошло зимой 2005 г. [7]. В периоды затишья температура изливающегося на поверхность субстрата составляет 16°C, во время извержений повышается до 28—32°C. Вокруг активных центров эрупции возникают лишенные растительного покрова грязевые поля округлой формы. Воды гря-

зевых вулканов Сахалина обладают высокой минерализацией — до 28 г/л ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ - 4,7$ г/л, $\text{HCO}_3^- - 7,2$ г/л, $\text{Cl}^- - 3,4$ г/л) [3].

Растительному миру грязевого вулкана Магунтан посвящен ряд работ [8—10]. Однако с геоботанических и экологических позиций растительный покров Магунтана все еще остается неизученным. Целью нашего исследования стало установление состава и разнообразия растительных сообществ, сформировавшихся на продуктах недавних извержений вулкана (грязевых полях), а также выявление закономерностей изменения этих показателей.

Грязевые вулканы извергают на дневную поверхность потоки полужидких сопочных брекчий (“грязей”), содержащие большие количества воды, нефти, сероводорода и рассеянных сульфидов [12]. В мире насчитывают 44 района развития грязевого вулканизма, из них лишь 2 располагаются в России — в Крымско-Таманском регионе и на о. Сахалин [13].

Материалы и методы

Полевые работы, связанные с учетом растений, осуществили летом 2011 г., а GPS-съемку грязевых полей — в июне 2012 г. Предварительное обследование растительного покрова провели на радиальных, направленных в разные стороны света от центра вулкана к его периферии, маршрутных ходах. Таким образом, было установлено, что участки растительного покрова, окаймляющие с севера, запада и юга центральную “мертвую зону” вулкана на одинаковом от его центра расстоянии, идентичны и принадлежат к одним и тем же визуально заметным зонам (поясам) растительного покрова, контуры которых в плане имеют дугообразную форму. Полностью покрытые продуктами извержения 2005 г. и более поздних эрупций восточную и северо-восточную части вул-

кана, где обнаружили лишь один пионерный вид — *Deschampsia tzvelevii* Prob., из дальнейшего детального рассмотрения исключили.

Для выявления изменения состава и других аналитических показателей растительных сообществ использовали метод непрерывного учета растений на линейной трансекте. Трансекту проложили от главного эруптивного канала центрального грязевого поля в радиальном направлении на запад, взяв за ориентир стоящую на опушке лиственницу. Радиус лишнего растительного покрова свежего грязевого поля (“мертвой зоны”) составлял 30 м, таким образом, первый метр трансекты, с которого начался учет растений, соответствовал расстоянию в 31 м от центра вулкана. Конечную точку трансекты определили визуально, в месте, где тяготеющий к внутренним секторам растительного покрова вулкана массовый вид *Primula sachalinensis* Nakai перестает быть доминантом и далее по линии трансекты не доминирует и исчезает. Протяженность трансекты оказалась равна 77 м (если не учитывать еще 30 м, соответствующих незарастающему центральному грязевому полю) (рис. 1). Это расстояние разбили на семь 10-метровых и один 7-метровый участки. Начало и конец каждого участка отметили колышками, между которыми повесили шнуры с метровой разметкой. Учитывали каждое растение, надземную часть которого пересекала проекция шнура. Расположение растений на метровых отрезках трансекты устанавливали с точностью до 1 см. В случае если растение оказывалось на стыке двух отрезков, то относили его к тому, на стороне которого находилась большая часть надземных органов. Особи *Triglochin palustre* L. и *Allium maximowiczii* Regel считали принадлежащими линии трансекты, если проекция шнура оказывалась не да-

лее чем в 3 см от места их укоренения. Такая корректировка оказалась необходимой, поскольку из-за своего морфологического строения эти виды не дают значительного проективного покрытия и в ином случае значительное их число оказалось бы неучтенным.

Используя данные трансектного учета — число особей того или иного вида (n_i) и общее число растений (N) с каждого метра трансекты, вычислили меры видового разнообразия Шеннона ($H' = -\sum p_i \ln p_i$; где $p_i = N/n_i$), Симпсона ($D = (1 - p_i^2)$), выравненность сообществ Пielу ($E = H'/\ln N$) и усреднили их для каждого из 8 участков трансекты. Значимость изменчивости значений проверяли с помощью однофакторного дисперсионного анализа, для проверки значимости различий между средними значениями 8 участков трансекты использовали t -критерий. Между показателями состава и разнообразия растительного покрова и метражом трансекты вычисляли значение коэффициента линейной корреляции Пирсона.

GPS-съемку и определение высоты над уровнем моря осуществляли с помощью навигатора Garmin eTrex30 со встроенными альтиметром. Статистические расчеты выполнены в программах Excel и STATISTICA 6.0. Латинские названия растений приведены по сводке С.К. Черепанова [14].

Результаты и обсуждение

На трансекте отмечено 7 из 8 видов сосудистых растений, характерных для молодых грязевых полей вулкана. Не учтенным на трансекте остался только спорадически встречающийся в центральной части вулкана, но более частый на его периферии, вид *Artemisia limosa* Koidz. — узкоэндемичный таксон, описанный с вулкана Магунтан.

Единственным видом, обнаруживаемым вдоль всей линии трансекты, оказался злак *Deschampsia tzvelevii* — локальный эндемик грязевого вулкана. На протяжении первых 34 м трансекты этот вид образует одновидовой микропояс зарастания. Начало снижения численности *Deschampsia tzvelevii* совпадает с появлением в растительном покрове растений других видов. С 35 м появляются особи *Primula sachalinensis* — эндемика, приуроченного к относительно молодым грязевым полям вулкана Магунтан. Еще один локальный эндемик, *Gentianella sugawarae* (Н. Hara) Czerep., начинает встречаться с 44 м и его численность возрастает по мере продвижения к конечной точке трансекты. На 45 м появляется *Festuca rubra* L., на 46 м — *Triglochin palustre*, на 50 м — *Allium maximowiczii*, на 67 м — *Salix fuscescens* Andersson. Растения не эндемичных таксонов в составе исследованных сообществ появляются на большем удалении от центрального эруптивного канала вулкана, чем эндемики, и характеризуются меньшей численностью (табл. 1).

Triglochin palustre образует массовые скопления в заполненных водой микропонижениях рельефа цент-

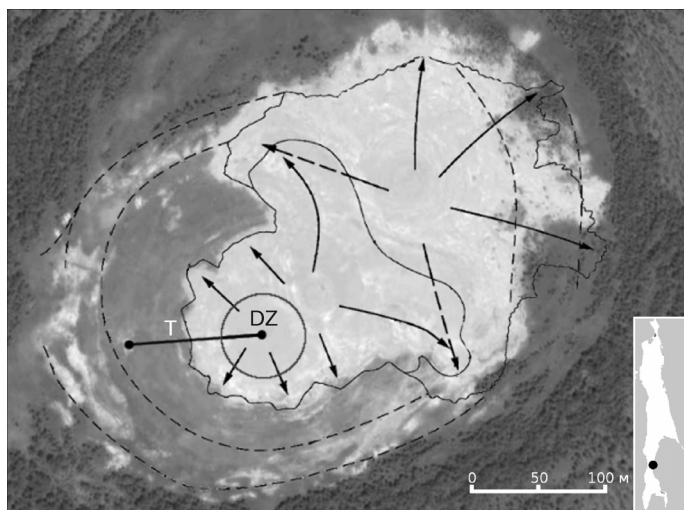


Рис. 1. Грязевой вулкан Магунтан после сильного извержения в 2005 г. (Google Earth). Стрелками обозначены направления основных грязевых потоков, сплошные линии — границы грязевых полей, пунктирные линии — визуально заметные границы микропоясов растительного покрова (по данным В.В. Ершова и О.А. Мельникова [5]). DZ — контур мертвой зоны вокруг центрального эруптивного канала в 2011 г., Т — трансекта

Таблица 1

Численность особей (экз./1 м) на участках трансекты

Виды		P ≤	Участки трансекты							
			1	2	3	4	5	6	7	8
DT	M	0,000	2,70 ^a	2,70 ^a	2,50 ^a	3,10 ^a	2,90 ^a	1,40 ^b	2,10 ^{ab}	0,14 ^c
	SE		0,21	0,21	0,34	0,41	0,35	0,34	0,43	0,14
PS	M	0,000	0,0 ^a			1,20 ^b	3,10 ^{bc}	4,80 ^c	4,30 ^c	3,71 ^c
	SE		—			0,49	0,77	0,61	0,63	0,52
GS	M	0,003	0,00 ^a				0,30 ^{ab}	0,20 ^{ab}	0,50 ^{ab}	1,57 ^b
	SE		—				0,21	0,20	0,27	0,81
AM	M	0,003	0,00 ^a				0,20 ^{abc}	0,20 ^{ab}	1,10 ^{abc}	0,86 ^c
	SE		—				0,20	0,13	0,55	0,26
FR	M	0,006	0,00 ^a				0,20 ^{ab}	0,20 ^{ab}	0,80 ^b	0,29 ^{ab}
	SE		—				0,13	0,13	0,33	0,29
TP	M	0,001	0,00 ^a				0,20 ^{ab}	0,20 ^a	0,20 ^a	0,86 ^b
	SE		—				0,20	0,13	0,13	0,26
SF	M	0,392	0,00 ^a						0,10 ^a	0,14 ^a
	SE		—						0,10	0,14

DT — *Deschampsia tzevelevii*; PS — *Primula sachalinensis*; GS — *Gentianella sugawarae*; AM — *Allium maximowiczii*; FR — *Festuca rubra*; TP — *Triglochin palustre*; SF — *Salix fuscescens*. M — среднее значение; SE — ошибка среднего; P — уровень значимости дисперсионного анализа. Значимо различающиеся по результатам t-теста средние значения числа особей обозначены разными буквенными индексами.

ральной части вулкана, которые трансекта не пересекала. *Salix fuscescens* доминирует на значительных площадях ближе к окраине вулкана, для молодых грязевых полей, примыкающих к главному центральному эруптивному центру вулкана, этот вид не характерен.

Общая численность растений положительно коррелирует с удалением от центра вулкана ($R^2 = 0,560$,

$p = 0,0001$), более тесная связь наблюдается между флористической насыщенностью и метражом трансекты ($R^2 = 0,654$, $p = 0,0001$) (рис. 2).

Заметна тенденция увеличения значений показателей численности растений, флористической насыщенности, разнообразия Шеннона (H') и Симпсона (D), индекса выравненности Пиелу (E) по мере перемещения от начальной точки трансекты к конечной. Первые 35 м трансекты индексы разнообразия не имеют значений, отличных от нулевых, поскольку растительный покров образован одним видом и состав сообщества гомогенен. Рост значений индексов начинается с места появления *P. sachalinensis*. Все три индекса (H' , D , E) положительно коррелируют с удалением от центра вулкана, значение R^2 соответственно равно 0,703, 0,713, 0,681 ($p \leq 0,001$). Связь становится менее тесной, если корреляцию считать для той части трансекты, где растительный покров не одновидовой, т.е. для отрезка с 35 по 77 м. В таком случае R^2 , соответственно перечисленным мерам разнообразия, принимает значения 0,264 ($p = 0,001$), 0,203 ($p = 0,002$), 0,027 ($p = 0,290$). Показатель выравненности сообщества (E) значимо не коррелирует с метражом трансекты (табл. 2).

Начиная с 35 м трансекты заметно уменьшается участие *Deschampsia tzevelevii*, растительный покров перестает быть одновидовым, начинается рост флористической насыщенности и показателей разнообра-

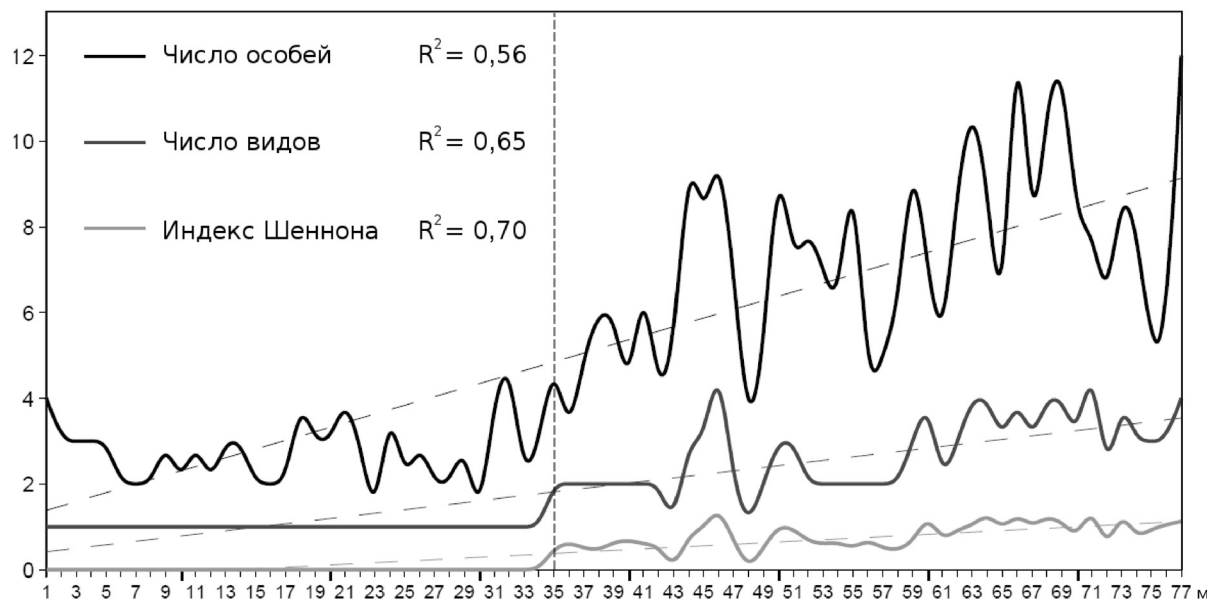


Рис. 2. Изменение состава и разнообразия растительного покрова вдоль линии трансекты

Средние значения мер разнообразия и численности растений
на участках трансекты

Таблица 2

П		P ≤	Участки трансекты							
			1	2	3	4	5	6	7	8
N'	M	0,000	1,00 ^a			1,60 ^b	2,40 ^{bcd}	2,40 ^d	3,40 ^e	3,43 ^{ce}
	SE		—			0,16	0,37	0,22	0,22	0,37
H'	M	0,000	0,00 ^a			0,34 ^b	0,66 ^{bcd}	0,69 ^d	1,03 ^e	1,03 ^{ce}
	SE		—			0,10	0,14	0,08	0,07	0,14
D	M	0,000	0,00 ^a			0,23 ^b	0,40 ^{bc}	0,43 ^c	0,59 ^d	0,57 ^{cd}
	SE		—			0,07	0,08	0,04	0,03	0,07
E	M	0,000	0,00 ^a			0,49 ^b	0,68 ^{bc}	0,82 ^c	0,86 ^c	0,84 ^{bc}
	SE		—			0,14	0,12	0,04	0,03	0,05
N	M	0,000	2,70 ^a	2,70 ^a	2,50 ^a	4,30 ^b	6,90 ^c	7,00 ^c	9,10 ^c	7,57 ^c
	SE		0,21	0,21	0,34	0,42	0,82	0,61	0,94	0,95

П — показатель, N' — флористическая насыщенность, H' — индекс разнообразия Шеннона, D — индекс разнообразия Симпсона, E — индекс выравненности сообщества Пиелу, N — число растений всех видов. Остальные буквенные обозначения те же, что в табл. 1.

разия. Это связано с тем, что на 35 м трансекта пересекает западную границу распространения продукто-извержения 2005 г (рис. 1). Начиная с 35 м, трансекта проходила по более старым грязевым полям, возраст которых неизвестен, но составляет никак не меньше 30 лет [4]. Колебания показателей на отдельных отрезках объясняются не только случайным распределением растений по поверхности вулкана, но и условиями микроэкотопов грязевых полей. Трансекта пересекала увлажненные (но не обводненные, где доминирует *Triglochin palustre*) участки, площади с препятствующей росту и развитию растений ветостью *Deschampsia tzevelevii*, а также участки вблизи небольших побочных грязевых грифонов, уже не активных и сильно оплывших под действием эрозии.

На грязевых вулканах по мере увеличения возраста извергнутой сопочной брекчии наблюдается уменьшение засоленности субстрата, накопление органического вещества и элементов минерального питания, формирование примитивных почв [10]. Процесс сукцессии в таком случае идет за счет смягчения условий местообитания вследствие изменения эдафотопы под действием выветривания и в меньшей степени за счет трансформации условий местообитания организмами.

Поскольку мы ориентировали трансекту радиально, то ее направление совпало с увеличением возраста субстрата и градиентом снижения экотопического стресса. Для растительности грязевого вулкана Магунтан пространственный ряд сообществ является и сукцессионным рядом, что обусловлено геохимической трансформацией субстрата по мере увеличения возраста грязевых полей. Экотопический стресс на примыкающих к центральному эруптивному каналу участках постоянен. Вероятно, в этом сле-

дует искать причину высокой степени эндемизма флоры вулкана. Схожие выводы сформулированы в отношении экосистем геотермальных источников [15, 16].

Выводы

Увеличение богатства состава и разнообразия растительного покрова происходит по мере удаления от центров эрупции, что совпадает с градиентом уменьшения экотопического стресса. Поверхность грязевого поля, образовавшегося в ходе последнего сильного извержения в 2005 г., заселена наиболее толерантным пионерным видом *Deschampsia tzevelevii*. Его преобладание в растительном покрове постепенно сменяется на доминирование *Primula sachalinense*, а ее в роли доминанта сменяет *Gentianella sugawarae*. Во внешней трети вулкана, обра-

зованной грязевыми выбросами давних извержений и оставшейся за пределами проложенной нами трансекты, эндемики перестают играть существенную роль в сложении растительных сообществ.

Всего на территории грязевого вулкана мы обнаружили 29 видов сосудистых растений. Флористический состав исследованных сообществ, приуроченных к наиболее молодым грязевым полям, насчитывает всего 8 видов сосудистых растений, из которых 4 — узкоэндемичные таксоны. Их фитоценотический оптимум находится в своеобразных и стрессовых условиях молодых отложений грязевого вулкана. Степень эндемизма максимальна в центральной части вулкана, где с разной степенью катастрофичности для растительных сообществ происходит постоянное обновление субстрата за счет эруптивной деятельности вулкана. Три эндемика образуют экологический ряд: *Deschampsia tzevelevii* → *Primula sachalinensis* → *Gentianella sugawarae*, они сменяют друг друга в роли доминанта по мере удаления от центра вулкана.

Вместе со сменой доминантов в растительном покрове происходит увеличение числа особей растений на единицу площади, рост флористической насыщенности и показателей разнообразия. Резкая смена состава растительного покрова приурочена к границе грязевого поля, возникшего в ходе последнего сильного извержения 2005 г. Далее по комплексному градиенту условий пространственные изменения состава и структуры носят более континуальный характер. Несмотря на плавный характер смен, на вулкане визуально хорошо заметны физиономически отличные друг от друга зоны или пояса растительного покрова. Микропоясность и различные варианты микроэкологической зональности являются общими чертами пространственной структуры экосистем, существ-

вующих вблизи геологических объектов, подобных вулканам, геотермальным полям, гейзерам [15–18]. Пространственный ряд сообществ вулкана одновременно является и сукцессионным рядом. Они сопря-

жены с уменьшением экотопического стресса, обусловленным геохимическим преобразованием грязевого субстрата в ходе выветривания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В.Ф., Молчанов Е.Ф., Корженевский В.В. Растительность и почвообразование на извержениях грязевых вулканов в Крыму // Почвоведение. 1989. № 2. С. 5–12.
2. Korzhenevsky V.V., Klyukin A.A. Vegetation description of mud volcanoes of Crimea // Feddes Repertorium. 1991. Vol. 102. N 1–2. P. 137–150.
3. Ting T.M., Poulsen A.D. Understorey vegetation at two mud volcanoes in north-east Borneo // J. Trop. For. Sci. 2009. Vol. 21. N 3. P. 198–209.
4. Del Moral R., Lacher I.L. Vegetation patterns 25 years after the eruption of Mount St. Helens, Washington, USA // Am. J. Bot. 2005. Vol. 92. N 12. P. 1948–1956.
5. Сырык И.М. Грязевые вулканы // Геология СССР. Остров Сахалин. Т. 33 / Под ред. В.Н. Верещагина. М.: Недра, 1970. С. 355–368.
6. Mel'nikov O.A. On the dynamics and origin of the Pugachevo Group of gas–water–lithoclast (“mud”) volcanoes on Sakhalin Island: visual observations and orohydrography // J. Volcanol. Seismol. 2011. Vol. 5. N 6. P. 409–420.
7. Ershov V.V., Mel'nikov O.A. Unusual eruption of the main Pugachevo gas–water–lithoclastic (mud) volcano in Sakhalin during the winter of 2005 // Russ. J. Pac. Geol. 2007. Vol. 1. N 4. P. 366–370.
8. Попов М.Г. Эндемичные виды грязевого вулкана Магунтан (Южный Сахалин) // Бот. журн. 1949. Т. 34. № 5. С. 486–492.
9. Бухтеева А.В. Примула вулкана Магунтан — *Primula sachalinensis* Nakai // Бот. журн. 1965. Т. 45. № 5. С. 746–748.
10. Таран А.А. Эндемичные виды сосудистых растений грязевого вулкана Магунтан (Сахалин) // Мат-лы междунар. конф. “Флора, растительность и растительные ресурсы Забайкалья”. Чита, 1997. С. 66–68.
11. Баркалов В.Ю., Кожевников А.Е., Смирнов А.А., Царенко Н.А. Особенности растительного покрова грязевого вулкана Пугачева (Южный Сахалин) // Комаровские чтения. 2006. № 52. С. 127–147.
12. Холодов В.Н. О природе грязевых вулканов // Природа. 2002. № 11. С. 47–58.
13. Kopf A.J. Significance of mud volcanism // Rev. Geophys. 2002. Vol. 40. N 2. P. 1–52.
14. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья, 1995. 990 с.
15. Полозова Т.Г., Юрцев Б.А. Парциальная флора окружения горячих ключей: сосудистые растения // Эко-системы термальных источников Чукотского полуострова / Под ред. Б.А. Юрцева. Л.: Наука, 1981. С. 94–121.
16. Нешатаева В.Ю., Чернягина О.В., Чернядьева И.В. Редкие растительные сообщества термальных местообитания района Мутновского вулкана (южная Камчатка) // Бот. журн. 2005. Т. 90. № 5. С. 731–748.
17. Burns B. Vegetation change along a geothermal stress gradient at the Te Kopia steamfield // J. R. Soc. N. Zeal. 1997. Vol. 27. N 2. P. 279–293.
18. Chiarucci A., Calderisi M., Casini F., Bonini I. Vegetation at the Limits for Vegetation: Vascular Plants, Bryophytes and Lichens in a Geothermal Field // Folia Geobot. 2008. Vol. 43. N 1. P. 19–33.

Поступила в редакцию
10.11.14.

VEGETATION COVER OF YOUNG MUD FLOWS ON MAGUNTAN MUD VOLCANO (SAKHALIN ISLAND)

K.A. Korznikov

The plant communities composition and α -diversity of the Maguntan mud volcano were studied along line transect (77 m). The vegetation cover of young mud flows is characterized by low total number of plants species (8) and abundance of 3 local endemic taxa — *Deschampsia tzvelevii*, *Primula sachalinensis*, *Gentianella sugawarae*. This species composition changed along mud volcano stress-gradient and create microzonal structure in vegetation. The plants abundance, α -diversity and number of species correlated with distance from the main eruption center and central mud flow area (“death zone”).

Key words: mud volcanoes, endemism, biodiversity, primary succession, community assembly, Sakhalin.

Сведения об авторе

Корзников Кирилл Александрович — аспирант кафедры геоботаники биологического факультета МГУ. Тел.: 8 (495) 939-39-64; e-mail: korzkir@mail.ru