

УДК 582.29

А.К. ЕЖКИН, Р.В. ЖАРКОВ, А.В. КОРДЮКОВ

Оценка воздействия геотермальной электростанции «Океанская» (вулкан Баранского, о-в Итуруп) на окружающую среду методом лишеноиндикации

*Представлены результаты исследований по оценке воздействия геотермальной электростанции «Океанская» в районе Старозаводского сольфатарного поля вулкана Баранского на о-ве Итуруп с использованием биологических индикаторов – лишайников. В качестве биоиндикаторов использовались эпифитные лишайники, обитающие на коре *Betula ermanii* Cham. По совокупности значений лишенобиоты выделены 3 изотоксичные зоны, отражающие степень и масштабы совместного воздействия деятельности геотермальной электростанции и сольфатарного поля на окружающую среду. Дополнительно проведены химические анализы выбросов геотермальной электростанции в окружающую среду.*

Ключевые слова: лишеноиндикация, лишайники, геотермальная энергия, Курильские острова, сольфатарное поле.

Assessment of environmental effects of the “Okeanskaya” geothermal power plant (Baransky volcano, Iturup Island) by the lichenoidication method. A.K. EZHKIN, R.V. ZHARKOV, A.V. KORDYUKOV (Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk).

*The results of the research of the environmental impact assessment for the «Okeanskaya» geothermal power plant in the area of Starozavodskoye solfataric field of the Baransky volcano on the Iturup Island using the biological indicators – lichens are presented. Epiphytic lichens inhabiting on the bark of *Betula ermanii* Cham. were used as bioindicators. On the basis of lichen diversity assessment 3 isotoxic zones reflecting level and scale of the mutual influence of the geothermal power plant and the solfataric field on the environment were defined. Additionally chemical analyses of geothermal power plant emissions into the environment were performed.*

Key words: lichenoidication, lichens, geothermal energy, Kuril Islands, solfataric field.

Промышленное освоение и использование геотермальных месторождений – один из наиболее экономичных и перспективных методов производства электроэнергии, однако работы, производимые в местах разведки и извлечения парогидротерм, оказывают губительное воздействие на локальные экосистемы (механические повреждения природных ландшафтов, выбросы в атмосферу токсичных газов и различных химических веществ, нарушающих растительный покров и опасных для человека) [1, 9].

Цель данной работы – оценить степень и масштабы воздействия геотермальной электростанции «Океанская» на окружающую среду в районе влк. Баранского на о-ве Итуруп,

* ЕЖКИН Александр Константинович – младший научный сотрудник, ЖАРКОВ Рафаэль Владимирович – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, КОРДЮКОВ Александр Владимирович – кандидат биологических наук, научный сотрудник (Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск).

* E-mail: ezhkin@yandex.ru

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 13-05-00239 А и 13-05-00544 А.

для чего изучено состояние эпифитных лишайников, традиционно используемых в качестве биоиндикаторов оценки фонового состояния окружающей среды [2, 5, 8, 17, 21–23, 25]. Эпифиты характеризуются более высокой скоростью поглощения загрязнителей и отличаются меньшей устойчивостью к поллютантам по сравнению с лишайниками из других групп [3, 12, 14, 27]. На лишайники губительно действуют вещества, прежде всего интенсифицирующие окислительные процессы, увеличивающие кислотность среды, – такие как SO_2 , HF, HCl, оксиды азота, озон, а также тяжелые металлы, которые не только сами являются токсичными веществами для лишайников, но и усиливают негативное воздействие некоторых загрязнителей [3, 16, 28].

Исследования влияния геотермальных электростанций на окружающую среду методами лишеноиндикации в России ранее не проводились. Подобные работы отмечены в Италии и Мексике, где зарегистрировано заметное снижение видового разнообразия, общего проективного покрытия лишайников, а также значительное повреждение талломов вблизи геотермальных станций и скважин [18, 21, 24]. Лабораторные исследования слоевищ лишайников, собранных в районах освоения геотермальных месторождений в Италии, показали повышенный уровень содержания токсичных элементов, таких как S, B, As, Hg и др. [10, 13, 20]. Кроме того, данные исследования выявили высокую степень корреляции между состоянием лишайниковых сообществ и частотой онкологических заболеваний у жителей северной Италии в районах, где осваивались геотермальные месторождения [11].

Результаты исследования состояния лишайниковых сообществ в районе воздействия геотермальной электростанции позволят оценить степень и масштабы атмосферного загрязнения, обозначить перспективы и методы использования лишайников в качестве естественных биоиндикаторов для мониторинга подобных объектов.

Район исследований

Исследования проводили летом 2012 г. на о-ве Итуруп, на юго-восточном склоне влк. Баранского в районе Старозаводского сольфатарного поля, расположенного в пределах Океанского месторождения парогидротерм (рис. 1). Вулкан Баранского проявляет интенсивную фумарольную деятельность, в пределах его постройки насчитывается четыре сольфатарных поля. Старозаводское поле занимает площадь $0,5 \times 1,0$ км, здесь множество разнообразных по составу термальных источников и грязевых котлов с температурой до

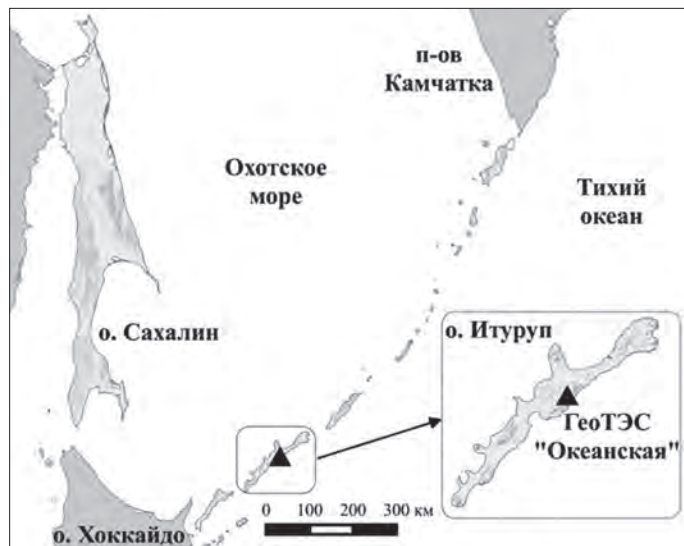


Рис. 1. Район исследований. Сахалинская область, о-в Итуруп

100 °С, pH от 2,4 до 6,2. Термальные источники имеют слабое газоотделение, в составе газов преобладает CO_2 , концентрации H_2S достигают максимальных значений (475 мг/л). Имеются слабые фумаролы в повышенных участках рельефа с отложениями серы, галлуазита и пирита [4, 6].

Геотермальное месторождение «Океанское» представляет собой систему из трех сопряженных между собой тектонических блоков. Термовыводящими структурами служат зоны разломов, сложенные

интенсивно трещиноватыми породами и различного рода брекчиями. В недрах горстов идет активный процесс перерождения вулканогенных, вулканогенно-осадочных субвулканических пород под влиянием высокотемпературных (300–350 °С) трещино-поровых хлоридно-натриевых сероводородно-углекислых вод. На базе этого месторождения в западной части Старозаводского поля на высоте 370 м над ур. м. с 2006 г. действует ГеоТЭС «Океанская» (рис. 2), обеспечивающая электричеством большую часть г. Курильск и несколько небольших поселков на острове. Разработка месторождения начата в 1990-е годы, первые выпуски пара из рабочих скважин имели разрушительный характер для природной среды, о чем свидетельствует большое количество погибших деревьев каменной березы без коры и лишайников в непосредственной близости от ГеоТЭС (рис. 3). В настоящее время сброс пароводяной смеси производится из труб в вертикальном и горизонтальном направлениях, в безветренную погоду шлейф пара вертикальной трубы ГеоТЭС может достигать более 10 м в высоту и распространяется на десятки метров вокруг электростанции.



Рис. 2. ГеоТЭС «Океанская»

Растительность района исследований характерна для о-ва Итуруп и обусловлена высотной поясностью, основные лесообразующие породы – береза каменная (*Betula ermanii* Cham.) и лиственница камчатская (*Larix kamtschatica* (Rupr.) Carg.), встречается рябина смешанная (*Sorbus commixta* Hedl.). На самом сольфатарном поле и вокруг него доминируют представители рода саза (*Sasa Makino et Shibata*). Из прямостоящих древесных пород каменная береза ближе всех подходит к границе сольфатарного поля. Степень сомкнутости каменоберезовых древостоев низкая, травяной ярус в основном бамбучниковый. Лиственница принимает активное участие в сложении древостоев только на расстоянии не менее 400 м от края поля.



Рис. 3. Погибшие деревья в окрестностях ГеоТЭС «Океанская»

Материалы и методы

Объектом исследований послужили естественные биоиндикаторы – лишайники, обитающие на стволах каменной березы, доминирующей в районе исследований. Для оценки влияния ГеоТЭС использована модифицированная формула индекса атмосферной чистоты (IAP) [17]. Для более точной оценки воздействия выбросов ГеоТЭС на

лишайники комбинированный показатель покрытия-встречаемости (F) заменен двумя отдельными показателями – F (показатель частоты встречаемости представителя каждого вида на пробной площади) и C (среднее покрытие вида на стволах деревьев в пределах площади). Сложность оценки влияния ГеоТЭС заключается в том, что станция находится на сольфатарном поле, которое также вносит свой вклад в загрязнение окружающей среды. Лишайники реагируют на весь спектр загрязнителей, и разделить воздействия станции и сольфатарного поля на этом этапе невозможно, поэтому оценивали совместное воздействие двух этих объектов.

Для проведения исследований было заложено 18 пробных площадей размером 20×20 м вокруг геотермальной станции на различном удалении, максимум до 1,4 км. На каждой пробной площади обследовано не менее 5 деревьев от основания до высоты 2 м; наличие лишайников фиксировали на всей видимой поверхности ствола. Одновременно отмечали покрытие (%) слоевищами каждого вида поверхности субстрата. Средние показатели покрытия и встречаемости определяли относительно всего числа обследованных на площади деревьев. Индекс атмосферной чистоты рассчитывали по формуле

$$IAP = \frac{1}{100} \sum_1^i Q_i \times F_i \times C_i,$$

где Q – индекс токсифобности, или ассоциированности вида, определяемый по общему количеству видов, сопутствующих данному на всех пробных площадях в исследуемом районе; F – частота встречаемости вида (определяли по 5-балльной шкале: 1 – вид представлен менее чем на 10 % деревьев, 2 – на 10–30, 3 – на 30–50, 4 – на 50–80, 5 – на 80–100 % деревьев); C – среднее покрытие вида на стволах деревьев в пределах площади (определяли по 5-балльной шкале, используемой в лишеноиндикационных исследованиях в Московской области [2]: 1 – покрытие стволов слоевищами менее 0,5 %, 2 – 0,6–5, 3 – 5–20, 4 – 20–50, 5 – более 50%). Сумма произведений делится на 100 для получения более наглядного числа.

Идентификация лишайников проведена по традиционным лишенологическим методикам [7]. При определении использовали микроскопы Микромед 2, МБС-2, реактивы: 10%-й раствор КОН, насыщенный водный раствор CaCl_2O_2 , раствор I_2 в водном растворе йодистого калия и спиртовой раствор парафенилендиамина $\text{C}_6\text{H}_4(\text{NH}_2)_2$. Обработку и определение материалов проводили в лаборатории островных экологических проблем Института морской геологии и геофизики ДВО РАН. Названия таксонов даны согласно базе данных Index Fungorum [15].

Пространственный анализ и картирование исследуемой территории по IAP выполняли методом обратных взвешенных расстояний (Inverse Distance Weighting – IDW).

Выделение изотоксичных зон проводили по результатам кластеризации на основе характеристик лишенобиоты (произведения показателей покрытия и встречаемости) пробных площадей методом Варда [26]. Группы устойчивости лишайников определяли по среднему значению произведения показателей F (встречаемость на площадке) и C (покрытие вида) в градиенте воздействия ГеоТЭС и сольфатарного поля, т.е. по приуроченности к изотоксичным зонам.

Химические анализы образцов пробконденсата пароводяной смеси с ГеоТЭС и газов с геотермальной скважины и грязевых котлов на сольфатарном поле выполнены в 2013 г. в аккредитованной Центральной лаборатории ОАО «Приморгеология» согласно межгосударственным стандартам для минеральных питьевых лечебных, лечебно-столовых и природных столовых вод и Аналитическом центре Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН методом газовой хроматографии.

Результаты и обсуждение

По результатам анализов проб конденсата, образующегося в процессе подготовки сухого пара для турбин геотермальной станции «Океанская» и сбрасываемого в окружающую среду, вода по химическому составу слабоминерализованная ($M = 0,025$ г/л), сульфатная аммонийная ($SO_4^{2-} - 97$ мг-экв %, $NH_4^+ - 88$, $Ca^{2+} - 6$, $Na^+ + K^+ - 6$ мг-экв %), слабоокислая (рН 6,35). В составе газов геотермальной скважины и грязевых котлов преобладают CO_2 и N_2 ($CO_2 - 53$ % об., $N_2 - 29$ % об. в скважине и $CO_2 - 45$ % об., $N_2 - 42$ % об. в грязевом котле).

Основные загрязнители, которые предположительно оказывают наибольшее воздействие на лишайниковые сообщества в этом районе, – это соединения аммония, поступающие в окружающую среду в результате работы геотермальной электростанции. Аммоний, являющийся токсичным химическим веществом для растений и животных, обнаружен в высоких концентрациях (превышающих ПДК в 4,3 раза) в пробах конденсата пароводяной смеси, который образуется в процессе подготовки сухого пара для турбин геотермальной станции «Океанская», сбрасываемого в окружающую среду. В составе загрязнителей в выбросах ГеоТЭС возможно присутствие тяжелых металлов и других токсичных химических соединений.

Воздействие на окружающую среду в исследуемом районе имеет многолетнюю историю по причине деятельности сольфатарного поля. Но несмотря на свои размеры (площадь $0,5$ км²) и большое количество грязевых котлов и термальных источников, а также мелких фумарол, с небольшим выходом серосодержащих газов и CO_2 , сольфатарное поле оказывает умеренное воздействие на окружающую среду по сравнению с ГеоТЭС и скважинами, шлейфы пара которых достигают десятков метров.

Всего на обследованных участках на березе каменной зарегистрировано 28 видов эпифитных лишайников. Доминантами выступают типичные представители бореальной лишайнобиоты из родов *Parmelia* Ach., *Hypogymnia* (Nyl.) Nyl., *Bryoria* Brodo & D. Hawksw и др.

По совокупности значений лишайнобиоты для каждой пробной площади определен индекс атмосферной чистоты, значения которого варьируют от 4–5,7 для наиболее приближенных до 29,7–33,4 для наиболее удаленных от ГеоТЭС и сольфатарного поля участков. Для выделения зон, отражающих степень совместного воздействия ГеоТЭС и сольфатарного поля на окружающую среду, проведен кластерный анализ, учитывающий флористический состав и значения покрытия-встречаемости для каждого вида. При отсутствии того или иного вида из общего флористического списка на пробной площади для него указывали нулевые значения. На полученном дендрите (рис. 4) отражена иерархическая система различия характеристик лишайнобиоты исследуемых площадей.

По значениям Эвклидова расстояния отчетливо выделяются 3 группы. Характерно, что в них попали пробные площади со схожими значениями IAP (рис. 5), из чего следует, что выделенные группы пробных площадей формируют зоны с различным уровнем воздействия ГеоТЭС и сольфатарного поля на окружающую среду.

Зона I объединяет 3 пробные площади (IB-09, -13, -14), для которых характерны наиболее

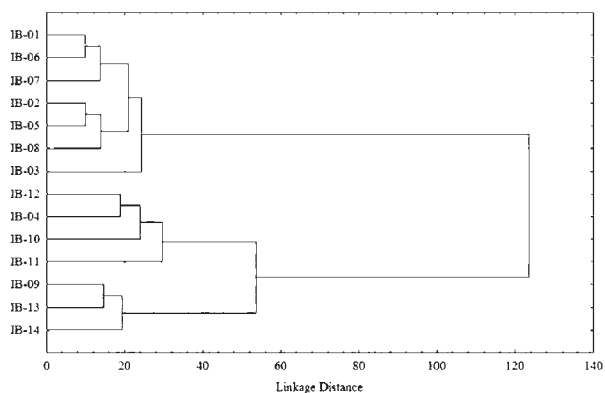


Рис. 4. Дендрограмма сходства 14 пробных площадей (IB-01–14). Дистанции рассчитаны методом Уорда [26] на основе характеристик лишайнобиоты

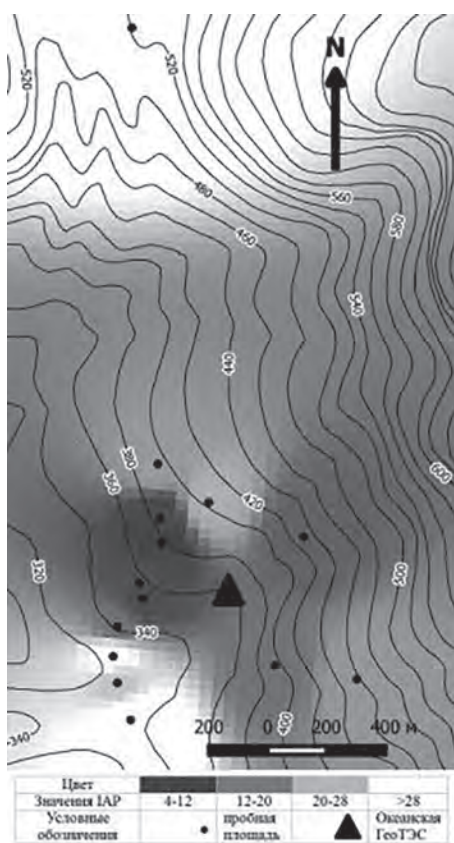


Рис. 5. Картограмма со значениями IAP, интерполированными на окрестности ГеоТЭС «Океанская» и Старозаводского сольфатарного поля влк. Баранского, и рельефом местности

высокие значения IAP: 29,7–33,4. Зона II объединяет 4 пробные площадки (IB-04, -10–12) со значениями IAP 16,5–21,9. Площади, наиболее приближенные к ГеоТЭС и сольфатарному полю, объединены в зону III со значениями IAP 4–11 (площади IB-01–03, -05–08).

На основании значений встречаемости (F) и покрытия (C) видов, а также по приуроченности к площадям, имеющим различные уровни IAP и принадлежащим к различным зонам воздействия, лишайники разделены нами на 3 группы по степени устойчивости к атмосферному загрязнению: умеренно толерантные (УТ), среднечувствительные (СЧ) и чувствительные (Ч) (см. таблицу). Пять видов из 28 отмечены на пробных площадях не более 2 раз, поэтому они не были отнесены ни к одной из групп устойчивости. Истинно толерантные виды, приуроченные только к загрязненным зонам с наиболее низкими значениями IAP, отсутствуют. Причина отсутствия этой группы лишайников, по нашему мнению, заключается в сравнительно недавней истории (не более 10–15 лет) стабильно высокого уровня загрязнения территории по причине эксплуатации ГеоТЭС. В связи с этим сообщества эпифитных лишайников вокруг станции все еще находятся в стадии формирования. Также не исключается возможность уничтожения естественных местообитаний видов эпифитных лишайников, устойчивых к испарениям

сольфатарного поля, во время разработки геотермального месторождения в 1990-е годы.

УТ-группа включает 13 видов, частота встречаемости которых в градиенте воздействия существенно не изменяется. Группы СЧ (приуроченных к чистым участкам и зонам средней загрязненности) и Ч (приуроченных в основном к чистым местообитаниям) насчитывают 7 и 3 вида соответственно.

В пределах зоны III на наиболее приближенных к ГеоТЭС и сольфатарному полю площадях (250–400 м) с IAP ≤ 11 в зоне сильного воздействия преобладают умеренно толерантные виды *Lecanora symmicta*, *Graphis scripta*, *Melanohalea olivacea*, *Parmelia fertilis*, *Parmelia saxatilis*; общее покрытие лишайников низкое, не более 20 %. Следы угнетения и некрозы слоевищ лишайников в этой зоне обычны.

Зона умеренного воздействия (II) объединяет пробные площадки, расположенные на расстоянии 300–550 м от ГеоТЭС. Значения IAP на данных площадях 16–22. В этой зоне доминируют умеренно толерантные и среднечувствительные виды; появляются чувствительные лишайники – *Mycoblastus sanguinarius*, *Platismatia herrei* и др. Проективное покрытие лишайников на стволах деревьев от низкого до среднего. Следы угнетения и некрозы слоевищ лишайников встречаются редко.

Зона, свободная от загрязнения (I), объединяет пробные площадки со значениями IAP 29–34, удаленные от ГеоТЭС на расстояние от 450 м. В этой зоне доминируют среднечувствительные виды, часто встречаются чувствительные, отмечаются умеренно толерантные виды. Покрытие лишайников высокое – 80 % и более. Следов угнетения и некрозов

Виды лишайников, отмеченные в районе исследований

Вид	Группа устойчивости	Q	Зона I		Зона II		Зона III	
			С	F	С	F	С	F
<i>Bryocaulon pseudosatoanum</i> (Asahina) Kurnefelt	СЧ	17,7	4,3	5	3,8	4,3	0	0
<i>Bryoria capillaris</i> (Ach.) Brodo & D. Hawksw.	СЧ	17,1	3	4	2,3	3,3	0,3	0,6
<i>Buellia disciformis</i> (Fr.) Mudd.	УТ	15,2	1,3	4,3	0,5	1,5	0,9	2,6
<i>Buellia erubescens</i> Arnold	–	13,0	0	0	0,5	1	0,1	0,3
<i>Caloplaca cerina</i> (Ehrh. ex Hedwig) Th. Fr.	–	14,0	0	0	0	0	0,1	0,3
<i>Graphis scripta</i> (L.) Ach.	УТ	14,5	2,3	4,7	1,5	2,5	1,4	3
<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.	–	18,5	0	0	0,3	0,5	0,1	0,4
<i>Hypogymnia sachalinensis</i> Tchabanenko & McCune	УТ	17,1	3	4	2	4	0,4	0,6
<i>Lecanora allophana</i> Nyl.	УТ	15,8	1,3	4	1,3	2,3	0,6	1,7
<i>Lecanora subrubra</i> Hue	–	13,5	0	0	0	0	0,4	0,9
<i>Lecanora symmicta</i> (Ach.) Ach.	УТ	13,8	0,7	2	1,5	2,5	1	3
<i>Melanohalea olivacea</i> (L.) O. Blanco et al.	УТ	13,6	2	3,7	2	3,8	1,1	3,1
<i>Mycoblastus sanguinarius</i> (L.) Norman	Ч	19,2	2,7	3,3	1,3	1,8	0	0
<i>Ochrolechia pallescens</i> (L.) A. Massal.	Ч	18,8	1	2,3	0,5	1	0,1	0,4
<i>Ochrolechia parella</i> (L.) A. Massal.	УТ	16,4	2,3	3,7	1,3	3	0,7	1,4
<i>Parmelia adaugescens</i> Hale	СЧ	18,7	2	3,3	1,3	2	0	0
<i>Parmelia fertilis</i> Müll. Arg.	УТ	13,9	3,7	4,3	0	0	1,1	2,4
<i>Parmelia saxatilis</i> (L.) Ach.	УТ	13,4	3	4,3	2	3,5	2,6	4,7
<i>Parmelia squarrosa</i> Hale	СЧ	17,7	3	4,7	2,3	3,8	0	0
<i>Pertusaria leioplaca</i> DC.	УТ	16,8	2,3	4	2	3,8	0,6	1,1
<i>Pertusaria pertusa</i> (Weigel) Tuck.	СЧ	17,2	1	1,7	0,3	0,5	0,3	0,6
<i>Pertusaria</i> sp.	СЧ	19,0	1	1	1,3	1,3	0	0
<i>Platismatia herrei</i> (Imshaug) W.L. Culb. & C.F. Culb.	Ч	20,0	2,3	3,3	0,5	0,8	0	0
<i>Platismatia interrupta</i> W.L. Culb. & C.F. Culb.	УТ	16,8	3,3	4,7	2,3	3,3	0,4	0,9
<i>Ramalina dilacerata</i> (Hoffm.) Hoffm.	СЧ	17,8	1	3	0,3	0,5	0,1	0,4
<i>Ramalina roesleri</i> (Hochst. ex Schaer.) Hue	УТ	15,4	1	2,3	0	0	0,6	1,3
<i>Rinodina</i> sp.	–	18,5	0	0	0,3	0,3	0,1	0,1
<i>Vulpicida pinastris</i> (Scop.) J.-E. Mattsson & M.J. Lai	УТ	14,3	0	0	1	3,8	0,4	1

Примечание. Q – значения токсифобности, С – средние значения покрытия, F – средние значения встречаемости вида в каждой из выделенных зон воздействия. УТ – умеренно толерантные, СЧ – среднечувствительные, Ч – чувствительные виды.

Номер площадок в статье (по мере удаленности)	IB-01	IB-07	IB-02	IB-05	IB-06	IB-08	IB-03	IB-12	IB-10	IB-04	IB-11	IB-09	IB-14	IB-13
Количество видов УТ	5	5	6	6	10	12	10	8	11	11	8	10	12	12
Количество видов СЧ	0	0	0	0	1	2	2	3	5	5	6	6	6	6
Количество видов Ч	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	2	2	3	3
IAP	4,0	4,5	5,3	5,7	8,6	10,9	11,0	16,5	16,8	19,3	21,9	29,7	31,5	33,4

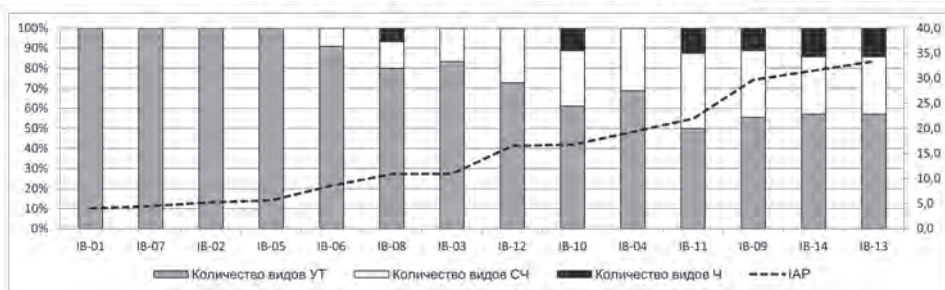


Рис. 6. Распределение видов из разных групп устойчивости на пробных площадках (по левой оси), % от общего числа видов (без учета видов, не отнесенных ни к одной из групп) и значения IAP (по правой оси). Площадки расположены по мере увеличения значений IAP

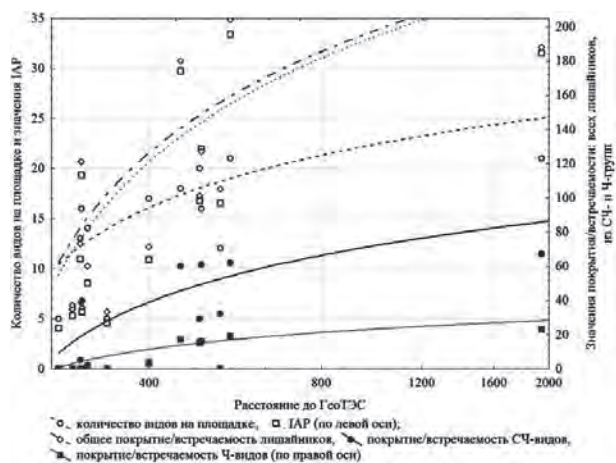


Рис. 7. Изменение значений IAP, количества видов, показателей произведения покрытия и встречаемости всех лишайников и представителей СЧ- и Ч-групп по мере удаления от ГеоТЭС

Между различными характеристиками лишенобиоты на пробных площадях и расстоянием до ГеоТЭС проведен расчет коэффициента корреляции Спирмена. Все указанные значения коэффициентов корреляции являются значимыми на уровне $p < 0,05$; кроме того, указанные значения коэффициентов, превышающие $\pm 0,7$, являются также значимыми на уровне $p < 0,01$.

По мере приближения к ГеоТЭС и сольфатарному полю при увеличивающемся уровне загрязнения воздуха зафиксировано уменьшение общего числа видов (коэффициент корреляции Спирмена между количеством видов и расстоянием до ГеоТЭС составляет 0,71) (рис. 7). Отмечено уменьшение значений покрытия-встречаемости всех видов (коэффициент 0,76) при уменьшении покрытия умеренно толерантных, среднечувствительных и чувствительных видов (коэффициенты корреляции 0,61; 0,77; 0,77 соответственно). Корреляция между IAP, основанным на отмеченных выше характеристиках, и расстоянием до ГеоТЭС также достаточно высока (0,75).

Заключение

Результаты исследований воздействия геотермальной электростанции «Океанская» в районе Старозаводского сольфатарного поля вулкана Баранского (о-в Итуруп) на окружающую среду по суммарным показателям состояния и состава лишайниковых сообществ позволяют выделить три изотоксичные зоны различной степени воздействия, объединяющие пробные площади со сходными значениями IAP.

Четкое распределение видов по степени чувствительности в градиенте загрязнения от ГеоТЭС и сольфатарного поля говорит о более давнем воздействии, имевшем место до разработки геотермального месторождения и строительства станции. Данное воздействие, вероятно, носило умеренный характер и было вызвано испарениями сольфатарного поля, не имеющего мощных естественных фумарол. Однако после начала разработки месторождения состояние окружающей среды резко ухудшилось, о чем свидетельствует как большое количество сухих, но не успевших упасть деревьев вокруг станции, так и многочисленные следы угнетения лишенобиоты – некрозы и погибшие слоевища эпифитных лишайников на живых деревьях.

В выбросах ГеоТЭС обнаружен аммоний в высоких концентрациях, в 4,3 раза превышающих ПДК. Известно, что лишайники особенно чувствительны к повышенным концентрациям соединений азота в атмосфере. После появления в этом районе нового источника загрязнения – ГеоТЭС сообщества эпифитных лишайников были подвержены сильному угнетению и продолжают его испытывать.

не отмечено. Здесь и на большем удалении от ГеоТЭС значения IAP меняются незначительно (рис. 6).

Сложный рельеф района исследований не позволяет использовать данные ближайших метеостанций для анализа влияния погодных условий на распространение загрязнений атмосферы выбросами ГеоТЭС. Однако очевидно, что наиболее загрязненные участки расположены к северо-востоку от станции, что обусловлено муссонным характером климата и преобладающими северо-восточными ветрами летом.

В настоящий момент по состоянию лишенобиоты границы совместного воздействия сольфатарного поля и ГеоТЭС находятся в пределах 450–550 м. Значительное воздействие на окружающую среду зафиксировано на расстоянии до 300–400 м от ГеоТЭС, где были отмечены следы угнетения слоевищ лишайников, низкое проективное покрытие и отклонения от нормы лишенобиоты в соотношении видов по степени чувствительности в сравнении с удаленными участками. На расстоянии 1,5 км следы угнетений лишенобиоты не зафиксированы, видовое соотношение по степени чувствительности соответствует участкам, не испытывающим влияния загрязнений.

Авторы выражают благодарность к.б.н. И.А. Галаниной за проверку и определение некоторых видов лишайников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоусов В.И., Белоусова С.П. Природные катастрофы и экологические риски (на примере развития геотермальной энергетики). Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГПУ, 2002. 132 с.
2. Бязров Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге. М.: Науч. мир, 2002. 336 с.
3. Горшков В.В. Влияние атмосферного загрязнения окислами серы на эпифитный лишайниковый покров северотаежных лесов // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. С. 144–159.
4. Знаменский В.С., Никитина И.Б. Гидротермы центральной части острова Итуруп (Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 1985. № 5. С. 44–64.
5. Мальшева Н.В. Лишайники Санкт-Петербурга. Влияние городских условий и лишеноиндикация атмосферного загрязнения // Ботан. журн. 1998. Т. 83, № 9. С. 39–45.
6. Мархинин Е.К., Стратула Д.С. Гидротермы Курильских островов. М.: Наука, 1977. 212 с.
7. Окснер А.Н. Определитель лишайников СССР. Вып. 2. Морфология, систематика и географическое распространение. Л.: Наука, 1974. 284 с.
8. Скирина И.Ф., Коженкова С.И., Родникова И.М. Эпифитные лишайники Приморского края и их использование в экологическом мониторинге. Владивосток: Дальнаука, 2010. 134 с.
9. Armannsson H., Kristmannsdottir H. Geothermal environmental impact // Geothermics. 1992. Vol. 21. P. 869–880.
10. Bargagli R., Barghigiani C. Lichen biomonitoring of mercury emission and deposition in mining, geothermal and volcanic areas of Italy // Environ. Monit. Assess. 1991. Vol. 16. P. 265–275.
11. Cislighi C., Nimis P.L. Lichens, air pollution and lung cancer // Nature. 1997. Vol. 387. P. 463–464.
12. Daly G.T. Bryophyte and lichen indicators of air pollution in Christchurch, New Zealand // Proc. New Zealand Ecol. Soc. 1970. Vol. 17. P. 70–79.
13. Ferrara R., Maserti B.E., Bargagli R. Mercury in the atmosphere and in lichens in a region affected by a geochemical anomaly // Envir. Technol. Lett. 1998. Vol. 9, N 7. P. 689–694.
14. Gilbert O.L. A biological scale for the estimation of sulphur dioxide pollution // New Phytol. Vol. 69, N 3. 1970. P. 629–634.
15. Index Fungorum // CABI databases. 2014. – <http://www.indexfungorum.org> (дата обращения: 01.08.2014).
16. LeBlanc F., Rao D.N. Effects of air pollutants on lichens and bryophytes // Response of plants to air pollutants. L.; N.Y., 1975. P. 144–159.
17. LeBlanc F., DeSloover J. Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal // Canad. J. Bot. 1970. Vol. 48. P. 1485–1496.
18. Loppi S., Nascimbene J. Lichen bioindication of air quality in the Mt. Amiata geothermal area (Tuscany, Italy) // Geothermics. 1998. Vol. 27, N 3. P. 295–304.
19. Loppi S. Lichen biomonitoring as a tool for assessing air quality in geothermal areas // Proc. World Geotherm. Congr. Kyushu-Tohoku, Japan, 2000. P. 645–648.
20. Loppi S., Bonini I. Lichens and mosses as biomonitors of trace elements in areas with thermal springs and fumarole activity (Mt. Amiata, Central Italy) // Chemosphere. 2000. Vol. 41, N 9. P. 1333–1336.
21. Loppi S. Lichens as bioindicators of geothermal air pollution in central Italy // Bryologist. 1996. Vol. 99, N 1. P. 41–48.
22. Nash T.H., Gries C. Lichens as indicators of air pollution // The Handbook of Environmental Chemistry / ed. C.O. Hutzinger. Vol. 4, pt C. N.Y.: Springer-Verlag, 1991. P. 1–29.
23. Nash T.H. Sensitivity of lichens to sulphur dioxide // Bryologist. 1973. Vol. 76 (3). P. 333–339.
24. Peralta G.M., Carmona C.A. Liqueños como indicadores biológicos en el campo geotérmico Los Azufres, Michoacan, Mexico // Geotermia. 1995. Vol. 1. P. 137–143.
25. Skye E. Lichens as biological indicators of air pollution // Annu. Rev. Phytopathol. 1979. Vol. 17. P. 325–341.
26. Ward J.H. Hierarchical grouping to optimize the objective function // J. Am. Statist. Assoc. 1963. Vol. 58. P. 236–244.
27. Westman L. Air pollution and vegetation around a sulphite mill at Örnsköldsvick, North Sweden (pollutants and plant communities on exposed rocks) // Wahlenbergia. 1975. Vol. 2. P. 1–146.
28. Wetmore C.M. Lichen floristics and air quality // Bibliotheca Lichenologica. Bd 30. Lichens, bryophytes and air quality. Berlin, 1988. P. 55–65.