

11. Gross M. All together now // Chem. Brit. 2002. V. 38. № 9. P. 22.

12. Waters C.M., Bassler B.L. Quorum sensing: Cell-t-cell communication in bacteria // Annual Review of Cell and Developmental Biology. 2005. V. 21. P. 319–346.

13. Кондакова Л.В., Горностаева Е.А., Домрачева Л.И. Самосборка природных биоплёнок с доминированием *Nostoc commune* // Биологический мониторинг природно-техногенных систем: Матер. Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием. Часть 2. Киров: ООО «Лобань», 2011. С. 169–174.

14. Зыкова Ю.Н., Кондакова Л.В., Домрачева Л.И. Альгологическая и микологическая характеристика грунтов вблизи ТЭЦ-5 г. Кирова // Инновационные технологии – в практику сельского хозяйства: Матер. Всерос. научно-практ. конф., посвящённой 65-летию агрономического факультета. Киров: Вятская ГСХА, 2009. С. 148–152.

15. Ефремова В.А., Кондакова Л.В. Качественные и количественные характеристики «цветения» почв в районах промышленных предприятий г. Кирова // Биологический мониторинг природно-техногенных систем: Матер. Всерос. научно-практ. конф. с междунар. участием. Часть 2. Киров: ООО «Лобань», 2011. С. 174–177.

УДК 631.445.11:631.466.3:574.2 (234.851)

## Влияние экологических факторов на формирование альгогруппировок горно-тундровых почв (Приполярный Урал)

© 2012. Е. Н. Патова, к.б.н., в.н.с., И. В. Новаковская, к.б.н., н.с.,  
М. Д. Сивков, вед. инженер, А. Б. Новаковский, к.б.н., н.с.,  
Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,  
e-mail: patova@ib.komisc.ru, novakovskaya@ib.komisc.ru

Исследовали влияние некоторых экологических факторов (высотная поясность, температура, влажность и кислотность почвы, содержание ряда биогенных элементов в верхних горизонтах) на формирование альгогруппировок в горно-тундровых почвах Приполярного Урала. Для исследованной территории среди изученных экологических факторов наибольшее влияние на число видов водорослей и их таксономическое разнообразие оказывают высота над уровнем моря, pH и содержание магния, кальция и калия в почве. Прослеживается уменьшение числа видов от гольцового пояса к горно-тундровому.

Influence of some ecological factors (height, temperature, humidity, soil acidity, maintenance of several nutrients in the upper soil layers) affecting algal communities in the mountain tundra soils of Subpolar Urals was investigated. Such factors as altitude, pH and content of  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K_2O$  in soils were found to be the most important for algae development on the investigated territory. There was also observed a decrease of algal diversity from the belt of mountain rocky deserts to the mountain tundra.

**Ключевые слова:** почвенные водоросли, температура, влажность и кислотность почвы, биогенные элементы, горно-тундровые почвы, Приполярный Урал

**Keywords:** soil algae, soils temperature, moisture and pH, nutrients, mountain-tundra ecosystems, Subpolar Urals

Почвенные водоросли являются важными фототрофными организмами, которые чутко реагируют на изменение почвенных условий. Эти микроорганизмы широко используются в биоиндикации почв, т. к. обладают сходной с высшими растениями реакцией на эдафические факторы и их изменения, но, в отличие от высших растений, имеют более короткий жизненный цикл и высокую скорость размножения [1]. Экологические факторы оказывают влияние на формирование видового состава водорослей в альгоценозах, основными из кото-

рых являются температура, влажность, содержание общего азота и углерода в почве, а также макро- и микроэлементов и др. [1, 2]. Для гольцового и горно-тундрового поясов Урала исследование влияния экологических факторов на разнообразие и распространение водорослей ранее не проводилось. Известны работы по влиянию экологических условий местообитаний на разнообразие и структуру водорослевых сообществ других горных систем [3, 4].

Цель работы – выявить влияние ряда экологических факторов с учётом высотной пояс-

ности на формирование видового разнообразия водорослей горно-тундровых почв Приполярного Урала.

**Район, методы и объекты исследования**

Исследования проведены в начале августа 2009 г. и в конце июля 2010 г. на Приполярном Урале (рис. 1). Всего обработано 23 смешанные пробы из разных вариантов горно-тундровых сообществ (табл. 1).

Сборы выполнены общепринятыми в почвенной альгологии методами, пробы отбирали на глубине 0–2 см, т. к. в этом верхнем слое почвы наблюдается активное развитие водорослей благодаря повышенному содержанию минерального азота и гумуса, а также слабокислой реакции среды [5, 6]. Отбор проб проводили в местах с нарушенным почвенным покровом на пятнах выветривания и криогенного пучения почвы с развитыми на них криптогамными корками, где развитие почвенных водорослей максимально. Экологические условия местообитаний водорослей в различных

типах горно-тундровых сообществ Приполярного Урала были изучены в течение одного полевого сезона в 2010 г. В момент отбора почвенно-альгологических образцов на всех исследованных участках были проведены измерения влажности почвы по объёмному содержанию воды (%) с помощью почвенного влагомера Field Scout TDR-100 (Spectrum Technologies, США), температуры почвы на глубине 10 см контактным термометром ТК-5.06 (ООО «ТЕХНО-АС», Россия) с 50 см металлическим щупом и температуры поверхности инфракрасным бесконтактным термометром Optris MiniSight (Optris GmbH, Германия). На пятнах выветривания участков № 16 и № 17 в течение двух дней измеряли динамику температуры и относительной влажности воздуха у поверхности пятен с применением гигрохрона DS-1923 (Dallas Semiconductor, США). Динамику влажности почвы в относительных единицах ( $m^3/m^3$ ) измеряли с использованием станции микроклимата H21-002 с датчиком влажности почвы S-SMC-M005 (Onset Instruments Corp., США). Исследованы кислотность почвы, а также содержание об-

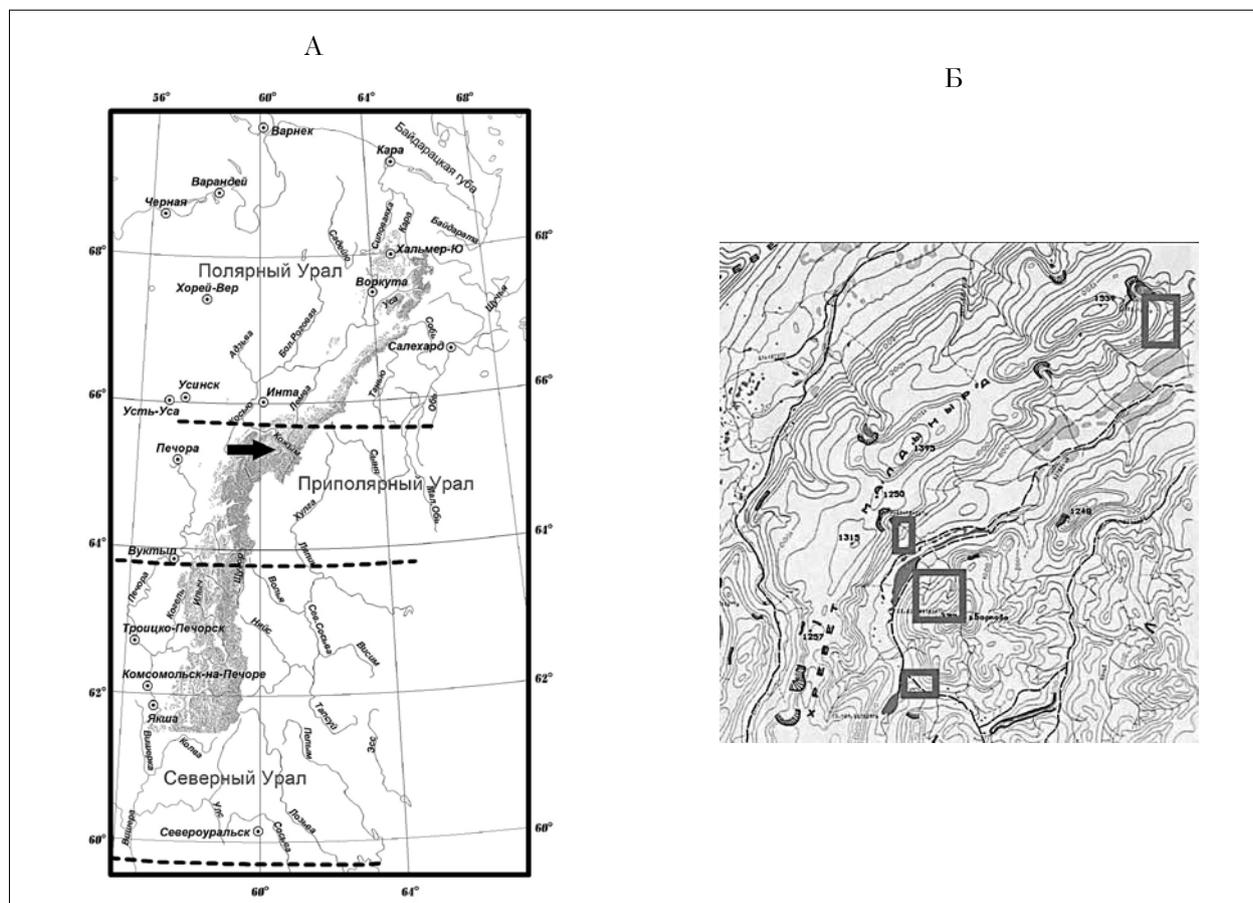


Рис. 1. Карта-схема района исследования. А – район сборов в бас. р. Кожым (чёрная стрелка), Б – места сбора проб в бас. р. Балбанью отмечены прямоугольниками

Таблица 1

Характеристика мест сбора почвенно-альгологических проб

№ пробы	Местонахождение	Высота над уровнем моря, м	Сообщество
2009 г.			
1	г. Баркова	1200	Кустарничково-моховое
2	Правый берег оз. Б. Балбанты	650	Злаково-ивняковое
3	Окрестности о. Грубепендиты	1077	Кустарничково-лишайниковое
4	г. Баркова	830	Кустарничково-лишайниковое
5	г. Баркова	1000	Разреженная злаково-моховая группировка
6	Окрестности оз. Грубепендиты	1078	Осоково-моховое
7	Окрестности оз. Б. Балбанты	630	Разнотравно-злаково-ивняковое
8	г. Баркова	850	Антропогенно трансформированный участок без растительности с выносом кварцевого песка из штольни
9	Окрестности оз. Б. Балбанты, г. Баркова	700	Пятнисто-каменисто-лишайниковое
10	Окрестности оз. Б. Балбанты на склоне	650	Кустарничково-лишайниковое
11	Окрестности оз. Грубепендиты на склоне	900	Кустарничково-лишайниково-моховое
12	Правый берег оз. Б. Балбанты	650	Кустарничково-лишайниково-моховое
2010 г.			
13	г. Варсанофьевой	989	Осоково-мохово-лишайниковое
14	г. Варсанофьевой	1012	Ивово-мохово-лишайниковое
15	г. Варсанофьевой	803	Кустарничково-лишайниково-моховое
16	Окрестности оз. Б. Балбанты	674	Кустарничково-мохово-лишайниковое
17	Окрестности оз. Грубепендиты	829	Нивальное мохово-лишайниковое
18	Окрестности оз. М. Балбанты	690	Оголённый грунт, на месте стойбища оленей
19	Окрестности оз. М. Балбанты, рядом с участком №18	697	Вторичная злаковая луговина
20	Окрестности оз. М. Балбанты	715	Кустарничково-мохово-лишайниковое
21	Окрестности оз. М. Балбанты	1080	Осоково-кустарничково-лишайниковое
22	г. Баркова	1331	Осоково-моховое
23	г. Баркова	1360	Осоково-лишайниково-моховое

щего азота, углерода, макро- и микроэлементов. Анализ почвенных образцов был проведён в аккредитованной экоаналитической лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН по стандартным методикам. Для выявления видовой разнообразия использовали прямое микроскопирование почвы и накопительные культуры, с по-

следующим выделением из них монокультур. Выращивание зелёных, жёлтозелёных, эустигматофитовых водорослей проводили с применением жидких и агаризованных сред 1N-BBM (pH 5,75) и 3N-BBM (pH 5,58), цианопротокариот – Bg 11 (pH 7,06). Для идентификации видов использовали отечественные и зарубежные определители. Исследо-

вание водорослей проводили на микроскопах Zeiss Axiolab (Zeiss, Германия) и Nikon Eclipse 80i (Nikon, Япония) при увеличениях  $\times 400$ ,  $\times 1000$ .

С целью выявления комплекса факторов, определяющих видовое разнообразие водорослей на высотном градиенте, выполнен корреляционный и многофакторный регрессионный анализ при помощи компьютерной программы Statistica 6, в качестве зависимой переменной взято число видов водорослей в пробе, а в качестве независимых переменных факторы среды, содержание макро- и микроэлементов в почве исследованного участка.

На основе программного комплекса PC-ORD (MjM Software, USA) выполнен DCA (Detrended correspondance analysis) ординационный анализ для выявления значимых факторов, влияющих на видовой состав водорослей исследованных участков.

### Результаты и их обсуждение

Выявлено относительно высокое разнообразие почвенных водорослей, несмотря на то, что район исследования характеризуется суровыми экологическими условиями. Всего в почвах горно-тундровых сообществ Приполярного Урала было обнаружено 146 видов водорослей из пяти отделов, 10 классов, 26 порядков, 53 семейств, 71 рода [7]. Большинство обнаруженных видов относится к отделам Chlorophyta – 60 и Bacillariophyta – 53, а также Cyanoprokaryota – 28, Xanthophyta – 3 и

Eustigmatophyta – 2. Ведущими семействами были: Phormidiaceae, Pinnulariaceae, Chlamydomonadaceae, Eunotiaceae, Chlorococcaceae, Fragilariaceae, Myrmeciaceae. Наибольшее число видов выявлено из родов *Leptolyngbya*, *Phormidium*, *Fragilaria*, *Eunotia*, *Pinnularia*, *Chlamydomonas*, *Chlorococcum*, *Scotiellopsis*. Основная масса выявленных таксонов относится к космополитам, также обнаружены аркто-альпийские виды. В исследованных пробах достаточно часто встречались: *Leptolyngbya foveolarum* (Rabh. ex Gom.) Anagn. et Kom., *Eustigmatos magnus* (B. Peters.) Hibberd, *Elliptochloris reniformis* (Watanabe) Ettl et Gärtner, *Chlorella vulgaris* Beijer. var. *vulgaris* и виды рода *Pseudococcomyxa*.

На высотном градиенте наблюдается изменение разнообразия водорослей [7]: наименьшее видовое разнообразие (4–6 видов) отмечается в пробах, отобранных из гольцового пояса (1300 м над ур. м.), наибольшее в сообществах горно-тундрового пояса на высотах 600–900 м над ур. м. (рис. 2). На больших высотах доминируют мелкие одноклеточные неподвижные зелёные водоросли из родов *Elliptochloris* и *Pseudococcomyxa* (в основном это виды, которые являются фотобионтами лишайников). Среди цианопрокариот в гольцовом поясе с высокой частотой встречаемости и обилием отмечаются *Stigonema minutum* (Ag.) Nass. ex Born. et Flah. и виды рода *Nostoc*. В горно-тундровых почвах состав доминантов более разнообразен, появляются крупноклеточные и нитчатые формы из родов *Chlorococcum*, *Scotiellopsis*,

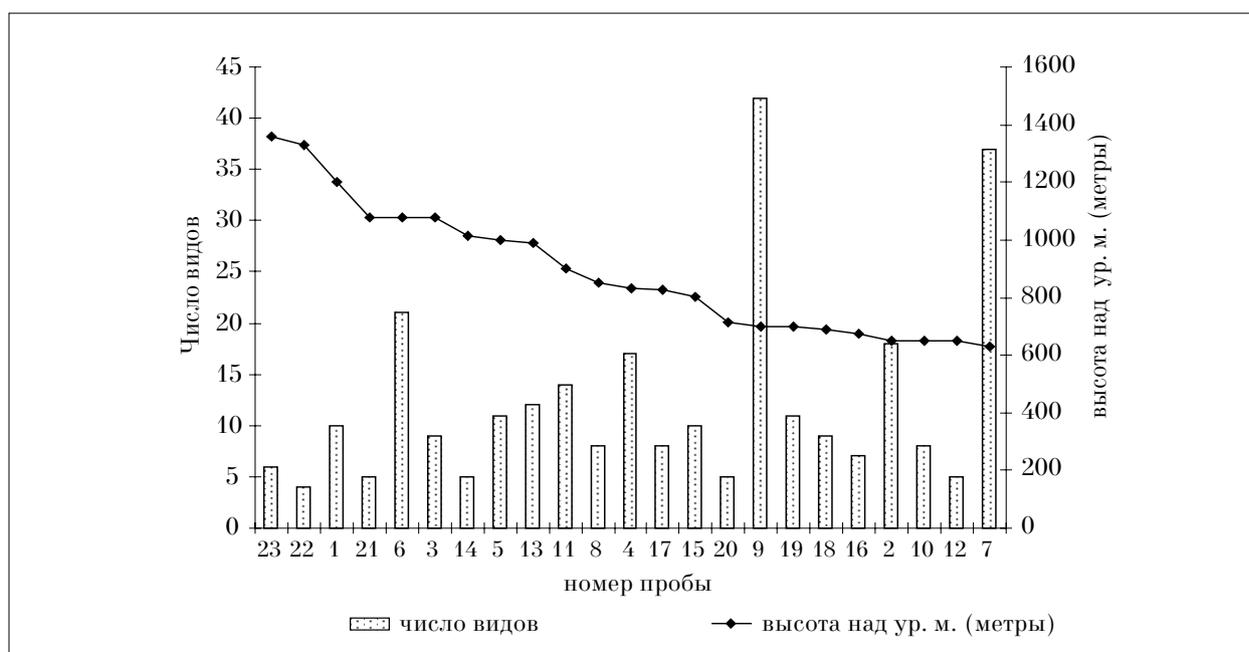


Рис. 2. Распределение почвенных водорослей по высотному градиенту

Таблица 2

Показатели температуры почвы в момент отбора проб в исследованных сообществах

Номер пробы	Число видов	Высота над уровнем моря, м	Температура на поверхности почвы, °С	Температура на 10 см слое почвы, °С
13	12	989	24	16
14	5	1012	30	24
15	10	803	22	17
16	7	674	17	14
17	8	829	12	10,5
18	9	690	21,5	20,3
19	11	697	19,5	18
20	5	715	23	18
21	5	1080	30	25
22	5	1331	12,5	12
23	6	1360	14,7	12,9

*Ulothrix* и *Klebsormidium*. Представители из семейства Leptolyngbyoideae, Phormidiaceae, Chlamydomonadaceae и Choricystidaceae довольно часто встречались в почвах гольцового и горно-тундрового поясов.

Комплекс экологических факторов на высотном градиенте существенно изменяется, что оказывает влияние как на разнообразие и структуру растительных сообществ, так и на состав и обилие почвенных альгогруппировок. В гольцовом и горно-тундровом поясах наблюдаются колебания температуры и влажности, сильная солнечная инсоляция, низкое содержание в почвах основных биогенных элементов [8]. К таким экстремальным условиям у водорослей выработались не только адаптационные механизмы на физиологическом уровне, но и определённые морфологические приспособления. Большинство таксонов имеют небольшие размеры клеток, что в целом характерно для водорослей холодных местообитаний. Многие виды образуют обильную и часто окрашенную в тёмные цвета слизь, что защищает их от резких колебаний температуры, влажности и повышенной солнечной радиации.

К экологическим факторам, оказывающим значительное влияние на сообщества водорослей, относят температуру и влажность почвы [2], регулирующие скорость протекания физиологических процессов, таких как фотосинтез, азотфиксация, синтез ферментов и др. Температура в момент отбора образцов на разных ключевых участках изменялась в пределах 12–30 °С на поверхности почвы и 10,5–25 °С на глубине 5–10 см (табл. 2), влажность на участках колебалась в пределах 2,2–44% (рис. 5).

На пятнах выветривания, где были отобраны пробы, наблюдаются заметные коле-

бания температуры и влажности, что, несомненно, влияет на формирование альгогруппировок. На рисунке 3 представлены результаты измерений температуры на глубинах 1 и 5 см в почве пятна в кустарничково-мохово-лишайниковом сообществе. Синхронные колебания температуры в суточной динамике с выраженными максимумами и минимумами имеют амплитуду до 16 °С. Влажность почвы на поверхности пятен также существенно изменяется в суточном ритме (рис. 4). Колебания влажности обусловлены в основном погодными условиями.

Экстремальность условий на поверхности пятен подчёркивает присутствие видов, встречающихся преимущественно только в почвах холодных регионов Антарктиды и субантарктических островов, это *Chlamydocapsa lobata* Broady, cf. *Fottea pyrenoidosa* Broady, cf. *Coenochloris signiensis* (Broady) Hind.

Отмечено, что с повышением влажности почвы увеличивается видовое разнообразие водорослей (рис. 5).

Относительно высокую влажность почвы 42,6 и 42,3% (злаково-осоковые луга на участках № 18 и 19 в горных долинах вблизи оз. М. Балбанты) индицируют диатомовые водоросли, а также гидрофильные виды из рода *Scenedesmus*. Здесь также отмечено высокое видовое разнообразие зелёных водорослей и цианопрокариот.

Динамика микроклимата (температуры и влажности воздуха у поверхности пятна), исследованная с использованием гигрохронов на двух участках на небольшом перепаде высот в пределах одного пояса, показала на равенство температур и незначительное увеличение влажности воздуха с высотой, так как вершины гор чаще окутаны облаками и туман-

ном (табл. 3). Скорее всего, в пределах одного горно-тундрового пояса ни температура, ни влажность не могут быть дифференцирующими факторами формирования видообразия водорослей, так как их различия не существенны (табл. 3).

Одним из определяющих факторов в данных условиях может быть кислотность среды [3]. В исследованных почвах диапазон показателей водородного потенциала рН был в пределах 4,5–6,3 (табл. 4), показатель кислотности зависел в большей степени от типов растительных сообществ, чем от высоты. В кислых почвах было выявлено невысокое видовое разнообразие зелёных водорослей из родов *Myrmecia*, *Stichococcus*, *Pseudococcomyxa*. Присутствие в альгогруппировках этих таксонов в целом характерно для кислых почв [1,

3]. В почвах близких к нейтральным наблюдается увеличение числа видов (табл. 4), помимо Chlorophyta появляются представители из отделов Cyanoprokaryota, Eustigmatophyta и Bacillariophyta. Увеличение разнообразия обусловлено тем, что для большинства водорослей оптимальный кислотный показатель почвы находится в пределах 5,0–6,0 [2].

В горно-тундровых почвах развитие водорослей также могут лимитировать низкие концентрации основных биогенных элементов [2, 9]. Содержание общего углерода и азота в большинстве исследованных почв было невысоким (табл. 5), соотношение С/N варьировало от 6,5 до 15,7. Исключение составили почвы участков № 18 и 19, где зарегистрированы относительно высокие концентрации азота и углерода, вследствие влияния перевыпаса

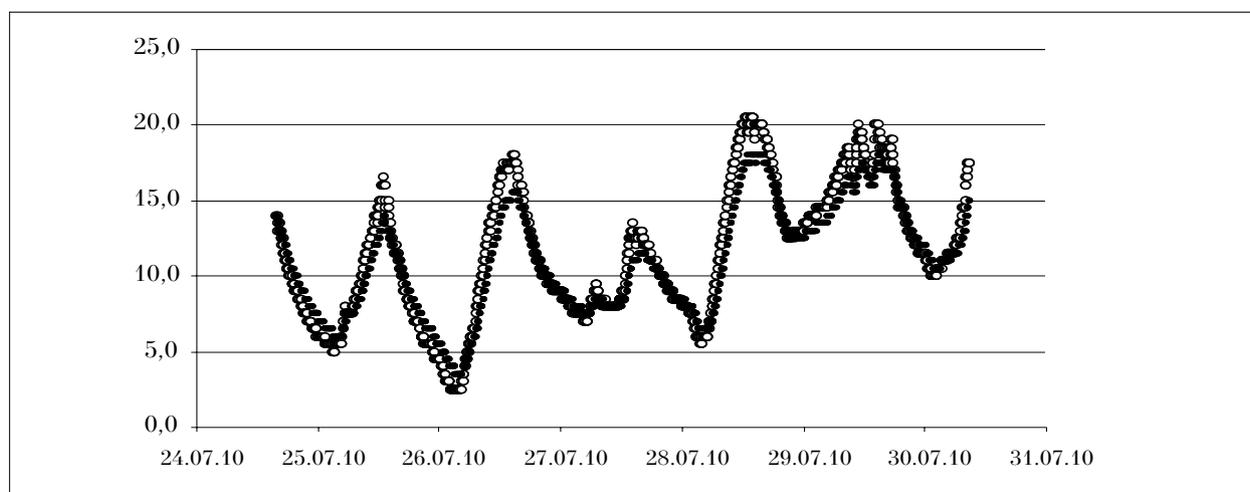


Рис. 3. Динамика температуры на пятне выветривания в кустарничково-мохово-лишайниковом сообществе (высота 674 м над ур. м.) на глубинах 1 см (светлые точки) и 5 см (тёмные точки). По оси ординат – температура пятен, °С, по оси абсцисс – дата измерений

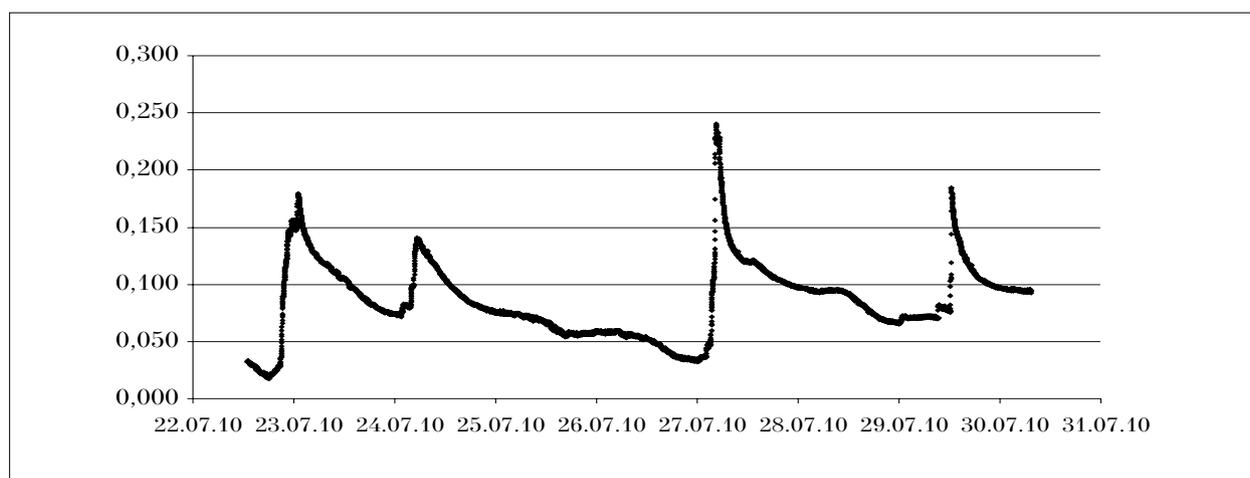
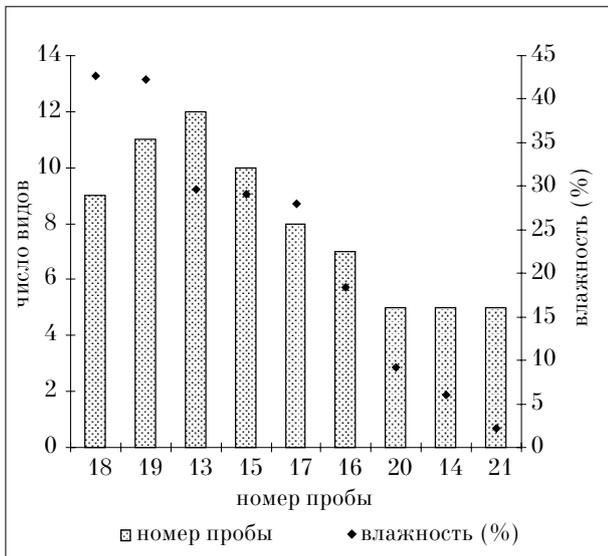


Рис. 4. Динамика влажности верхнего горизонта почвы на примере пятна в кустарничково-мохово-лишайниковом сообществе. По оси абсцисс – дата измерений, по оси ординат – влажность почвы, м³/м³



**Рис. 5.** Показатели видового разнообразия водорослей и влажности почвы на исследованных участках. Данные по пробам № 22 и 23 не включены в анализ, т. к. отбор почвенно-альгологических образцов и измерение влажности на этих участках произведены во время дождя

оленей. Здесь отмечено массовое разрастание нитрофильных видов – *Phormidium autumnale* (Ag.) Gom. и *Ulothrix variabilis* Kütz.

Концентрации фосфора, кальция, магния, калия и натрия в почвах изученных участков изменялись в широких пределах (табл. 4), полученные значения сходны с содержанием этих элементов в горно-тундровых почвах Приполярного Урала [10].

Проведённый нами попарный корреляционный анализ показал отсутствие статистически достоверных зависимостей между агрохимическими показателями и высотой расположения участков над уровнем моря (табл. 6). Это обусловлено прежде всего разнородностью и мозаичностью горно-тундровых сообществ, а также характеристиками подстилающих пород [5].

Корреляционный анализ числа видов с рассматриваемыми агрохимическими показателями выявил, что видовое разнообразие водорослей в условиях гольцов и горных

тундр района исследований имеет высокую степень с содержанием магния, калия, натрия и водородным потенциалом (табл. 6), что обусловлено их важной ролью в функционировании клеток водорослей, а также низкими содержаниями данных элементов в почвах. Содержание этих элементов для исследованного района можно отнести к лимитирующим факторам, оказывающим влияние на разнообразие водорослей горных тундр и гольцов. Магний входит в состав хлорофилла, оказывает влияние на накопление каротиноидов и биомассы, размножение клеток, процессы фотосинтеза и дыхания [9]. Ионы калия в клетках водорослей участвуют в осмотической регуляции, контроле рН, обеспечивают стабильность белков. Натрий входит в состав ферментов, участвует в их активации и регулирует водный баланс. Содержание калия и натрия в почвах может влиять на развитие почвенных водорослей опосредованно за счёт регуляции рН почвенной среды, т. к. ионы кальция, магния, калия и натрия вытесняют ионы водорода из почвенного поглощающего комплекса, тем самым снижают кислотность, что благоприятно сказывается на развитии многих видов водорослей.

Пошаговый регрессионный анализ выявил в качестве значимых факторов, определяющих разнообразие водорослей района исследований, содержание магния в верхних горизонтах почв и высоту участков над уровнем моря.

Модель представляет собой следующий вид:

$$N=9,23 + 3,698 \cdot Mg - 0,0044 \cdot H,$$

где N – число видов, H – высота участков над ур. м., Mg – содержание магния в почве.

Найденная модель описывает 87% изменчивости числа видов водорослей (рис. 6), что указывает на высокую степень соответствия модели экспериментальным данным.

При проведении корреляционного и пошагового регрессионного анализов между исследованными экологическими факторами и

**Таблица 3**  
Среднесуточные температуры (°С) поверхности пятен и относительной влажности воздуха над поверхностью пятен выветривания

Дата	Высота 674 м		Высота 829 м	
	Температура поверхности пятна, °С	Влажность воздуха над поверхностью пятна, %	Температура поверхности пятна, °С	Влажность воздуха над поверхностью пятна, %
27.07.10	9,8	99,4	8,9	99,8
28.07.10	14,2	79,0	14,1	92,2

Таблица 4

Агрохимические показатели почвы исследованных участков и число видов водорослей

№ пробы	Число видов	pH вод.	pH сол.	Ca мг экв/100г	ΔCa	Mg мг экв/100г	ΔMg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> мг/кг	ΔP <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O мг/кг	ΔK <sub>2</sub> O	Na обмен ммоль/100%
13	12	6,3	5,2	5,28	0,40	2,12	0,16	449	67	97	15	0,124
14	5	4,9	4,5	0,37	–	0,14	0,03	417	63	36	5	0,036
16	7	5,0	4,5	0,54	0,09	0,15	0,03	445	67	44,6	6,7	0,080
17	8	4,8	4,2	1,41	0,13	0,40	0,04	770	115	167	17	0,061
18	9	5,6	4,9	3,67	0,33	0,84	0,08	232	35	366	37	0,090
19	11	5,1	4,4	4,87	0,44	0,87	0,09	79	12	253	25	0,060
20	5	4,8	4,3	0,63	0,11	0,17	0,03	372	56	51,0	7,7	0,059
21	5	4,5	3,9	0,27	–	0,15	0,03	2,6	0,5	24,0	3,6	0,060
22	5	4,9	4,3	2,05	0,18	0,33	0,03	742	111	24,8	3,7	0,036
23	6	5,6	4,8	6,76	0,51	0,50	0,05	962	144	56	8,5	0,076

Примечание: прочерк – нет данных.

Таблица 5

Содержание в исследованной почве общего азота, углерода и разнообразие водорослей на исследованных участках

№ пробы	Число видов	ω C%	Δ C%	ω N%	Δ N%	C/N *1,167
13	12	0,43	0,13	0,038	0,010	13,2
14	5	0,39	0,12	0,043	0,011	10,6
16	7	0,57	0,13	0,052	0,014	12,8
17	8	1,40	0,25	0,157	0,027	10,4
18	9	2,6	0,5	0,24	0,04	12,6
19	11	5,8	1,0	0,44	0,07	15,4
20	5	0,38	0,11	0,039	0,010	11,4
21	5	0,37	0,11	0,066	0,017	6,5
22	5	0,66	0,15	0,049	0,013	15,7
23	6	0,55	0,13	0,054	0,014	11,9

Примечание: в последнем столбце приведено молярное соотношение C/N.

Таблица 6

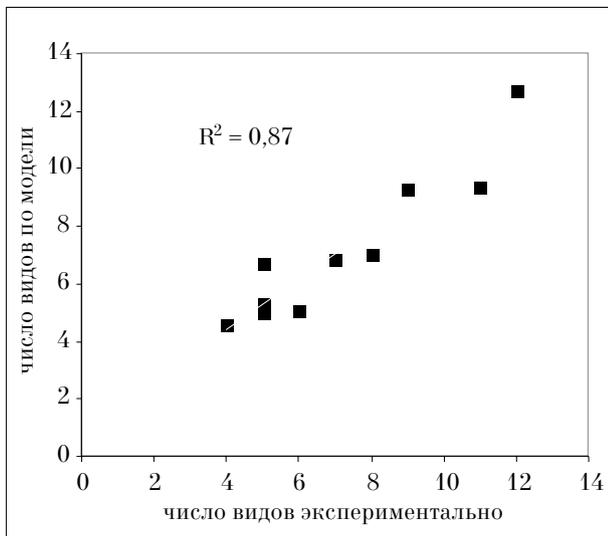
Результаты попарного корреляционного анализа числа видов водорослей и высоты ключевых участков с агрохимическими показателями

Анализируемые показатели	Число видов	Высота	Влажность почвы, %	pH вод.	pH сол.	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sup>+</sup>
Число видов	–	-0,45	0,37*	0,67*	0,62	0,58	0,84*	-0,25	0,64*	0,73*
Высота над ур. м.	-0,45	–	0,15	0,084	-0,02	0,27	-0,04	0,55	-0,55	-0,22

Примечание: \* – выделены коэффициенты корреляции, значимые при p<0,05.

видовым разнообразием температура и влажность не оказались среди значимых факторов. Это связано с тем, что измерения данных показателей нами были выполнены только в моменты отбора проб, однако в суточном ритме влажность и температура почвы (особенно верхних горизонтов) претерпевают существенные колебания (рис. 3, 4). Температура и влажность по-

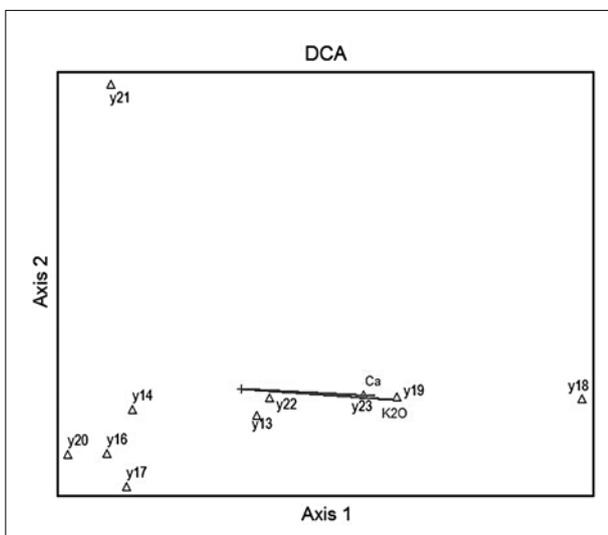
чвы (табл. 2, рис. 5) представляют собой дифференциальные показатели, более правильным было бы их измерение синхронно на всех участках за определённые временные периоды. К сожалению, из-за технических и временных ограничений такие измерения нами не были проведены. Можно предположить, что влияние температуры и влажности опосредованно учтены



**Рис. 6.** Взаимосвязь числа видов водорослей, определённых экспериментально и найденных по модели

в таком интегрально значимом факторе как высота исследуемых участков над уровнем моря.

DCA-анализ, проведённый с помощью программного комплекса PC-ORD, показал, что наиболее значимыми факторами, влияющими на видовой состав водорослей в альгогруппировках, являются содержание кальция и калия в почве (рис. 7). Дополнение списка значимых факторов кальцием, который участвует в поддержании структуры клеточных оболочек, морфогенезе клеток [9] и оказывает влияние на процесс фотосинтеза, возможно, связано с тем, что в данном виде анализа



**Рис. 7.** Ординация исследованных участков по видовому составу водорослей с векторами, отражающими корреляцию между осями ординации и содержанием Са и К<sub>2</sub>О. Длина векторов Са и К<sub>2</sub>О отражает значение коэффициента корреляции (Са – 0.72; К<sub>2</sub>О – 0.76) с осью 1

учитывалось не только общее число видов, отмеченных на площадках, но и видовое разнообразие водорослей. Например, на участках с максимальным содержанием кальция в почве (№ 13, 19, 23) отмечено наибольшее видовое разнообразие Cyanoprokaryota, многие представители которых являются кальцефилами.

С помощью двух программных комплексов Statistica 6 и PC-ORD мы получили несколько различные результаты по коэффициентам корреляции между факторами и разнообразием водорослей, что связано с тем, что в первом случае анализировалось только число обнаруженных видов водорослей на каждом ключевом участке, а во втором случае – видовой состав.

### Заклучение

В горно-тундровых почвах Приполярного Урала отмечается достаточно высокое видовое разнообразие водорослей, всего было обнаружено 146 таксонов. В альгогруппировках по видовому разнообразию лидируют представители отделов Chlorophyta, Bacillariophyta и Cyanoprokaryota. В высотном градиенте наблюдается увеличение видового разнообразия от гольцового пояса к горно-тундровому. В альгофлоре выявлены холодолюбивые виды, которые подчеркивают экстремальность условий этого района. Основным фактором, лимитирующим видовой состав водорослей альгогруппировок в исследованном регионе, является содержание кальция и калия в почве. Число видов водорослей в исследованных почвах определяется содержанием магния, кислотностью почвы, а также высотой участков, объединяющей как интегральный показатель такие экологические факторы среды, как температура верхних горизонтов и влажность почвы.

*Исследования проведены при поддержке гранта РФФИ 10-04-01446-а и совместного проекта конкурсных программ научных исследований УрО РАН и СО РАН № 12-С-4-1002, а также проекта Президиума РАН № 12-П-4-1018.*

### Литература

1. Штина Э.А., Зенова Г.М., Манучарова Н.А. Альгологический мониторинг почв // Почвоведение. 1998. № 12. С. 1449–1461.
2. Голлербах М.М., Штина Э.А. Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 228 с.
3. Lukešová A., Hoffmann L. Soil algae from acid rain impacted forest areas of the Krušné hory Mountains. 2. Effect of pH on growth // Algological Stud. 1995. № 78. P. 39–51.

4. Базова Г.А. Почвенные водоросли высокогорий Памира. Душанбе: Изд-во Дониш, 1978. 171 с.
5. Забоева И.В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар: Коми книжное издательство, 1975. 344 с.
6. Гецен М.В. Водоросли в экосистемах Крайнего Севера (на примере Большеземельской тундры). Л.: Наука, 1985. 165 с.
7. Новаковская И.В., Патова Е.Н., Шабалина Ю.Н. Почвенные водоросли горно-тундровых сообществ Приполярного Урала (Национальный парк «Югыд Ва») // Бот. журн. 2012. № 3. (в печати)
8. Биоразнообразие водных и наземных экосистем бассейна реки Кожым (северная часть национального парка «Югыд Ва») / Отв. ред. Е.Н. Патова. Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2010. 192 с.
9. Саут Р., Уиттик А. Основы альгологии: Пер. с англ. М.: Изд-во Мир, 1990. 597 с.
10. Жангуров Е.В., Дымов А.А. Морфологическое строение и физико-химическая характеристика почв горной тундры Приполярного Урала (Хребты Малды-Нырды, Росомаха) // Актуальные проблемы биологии и экологии: Матер. докл. XVIII молодёж. науч. конф. Сыктывкар. 2011. С. 161–164.

УДК 579.8: 631.8

### Реакция актиномицетов на ключевые факторы урбаногенного загрязнения почвы в модельном опыте

© 2012. Т. Я. Ашихмина, д.т.н., зав. лабораторией, Е. С. Соловьёва, аспирант, И. Г. Широких, д.б.н., в.н.с.,  
Лаборатория биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН  
и Вятского государственного гуманитарного университета,  
e-mail: irgenal@mail.ru

В лабораторных микрокосмах изучено варьирование численности почвенных актиномицетов под воздействием факторов подщелачивания и загрязнения почвы свинцом. Описана реакция на воздействие указанных урбано-генных факторов со стороны отдельных компонентов актиномицетного комплекса: стрептомицетов, микромоноспор и олигоспоровых форм.

In laboratory microcosms actinomycetes' number varying was studied under the influence of such factors as soil alkalizing and soil contamination with lead. The reaction of certain actinomycetes' complex elements, such as streptomycetes, micromonosporas and oligosporous forms, on the impact of urbanogeneous factors is described.

Ключевые слова: урбоэкосистема, почвенные актиномицеты, численность популяции, сукцессия, реакция среды, свинец

Keywords: urban ecosystems, soil actinomycetes, population number, succession, medium reaction, lead

Для современного города характерны процессы деградации окружающей среды и накопления ксенобиотиков [1, 2]. Наиболее сильное влияние загрязняющих веществ в урбо-экосистемах испытывает почва, так как она, в отличие от воздушной и водной сред, быстро поглощает поллютанты и очень медленно их трансформирует [3]. Как следствие низкой гумусированности и буферности городских почв по отношению к химическим элементам-загрязнителям процессы естественного самоочищения, в которых участвуют органоми-неральные комплексы и гумусовые вещества, в урбано-зёмах ослаблены. Ключевым компо-

нентом, определяющим интенсивность протекающих в почве биологических процессов, связанных с трансформацией ксенобиотиков, являются микроорганизмы. Исключительная роль микроорганизмов в создании современной биосферы и поддержании её характеристик на уровнях, приемлемых для живых систем, включая человека, в настоящее время очевидна. Поэтому вопросы экологии микроорганизмов в почвах урбанизированных территорий имеют особое значение.

В загрязнённых и нарушенных почвах города часто складывается обстановка, которая вызывает вспышки роста токсигенных, ал-