

I. N. Selivonchyk

ZOOPLANKTON IN THE BELOYE LAKE (MYADEL DISTRICT, BELARUS)

*Belarusian State University,
Minsk, Republic of Belarus,
Selivonchyk@bsu.by*

Abstract. The article presents data on the species composition, abundance and biomass of zooplankton in Lake Belaye in 2014 – 2015. The seasonal dynamics of the abundance and biomass of zooplankton for two years is analyzed. In the seasonal dynamics of abundance and biomass, the presence of three maxima has been noted in 2014: May, July – August and October and two maxima has been noted in 2015: May and August – September.

Key words: zooplankton, species composition, abundance, biomass, seasonal dynamics, Belaye Lake.

УДК 631. 41 + 631. 46

Е. А. ХАЙРУЛИНА¹, А. Ю. МАКСИМОВ², Н. В. МИТРАКОВА¹, П. Ю. МАЛЬЦЕВА¹

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ГАЛОГЕНЕЗА

¹*Естественнонаучный институт
Пермского государственного национального исследовательского университета,
г. Пермь, Российская Федерация,
elenakhay@gmail.com, mitrakovanatalya@mail.ru, inbox. 98@bk.ru*

²*Институт экологии и генетики микроорганизмов
Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН,
г. Пермь, Российская Федерация,
almaks1@mail.ru*

В результате деятельности предприятий по добыче калийно-магниевых солей активируются процессы техногенного галогенеза, что приводит к изменению микробиологического разнообразия и химических свойств почв пойменных ландшафтов. Для солончака вторичного характерно сильное засоление и бактерии, обитающие в морских и высокоминерализованных средах.

Ключевые слова: галогенез, засоление почв, солончак вторичный, сульфидогенез, микроорганизмы.

Введение. Разработка полезных ископаемых приводит к нарушению почвенного покрова, что выражается в загрязнении, засолении, механическом нарушении и изменении физических свойств почв [9]. Под воздействием этих факторов изменяются физико-химические и химические процессы, протекающие в почвах техногенных территорий. Микроорганизмы обитают почти везде, включая экстремальные условия, где могут существовать лишь немногие формы жизни. Микроорганизмы активно участвуют в почвообразовательных процессах, в выветривании и преобразовании минералов. Геохимия экстремальных условий играет важную роль в формировании микробных сообществ.

Результатом деятельности предприятий по добыче калийных солей в Пермском крае является повышение уровня грунтовых вод вследствие подработки шахтного пространства и засоление подземных и поверхностных вод из-за влияния фильтрационных вод шламохранилищ и солеотвалов. Это приводит к заболачиванию территорий и образованию ареалов засоленных почв, приуроченных к поймам малых рек. Поступление фильтрационных вод в окружающую

среду приводит к повышению содержания в почвах и грунтовых водах хлоридов калия и натрия, сульфатов натрия, калия и кальция. В результате образуются аллювиальные засоленные почвы и вторичные солончаки. Солончаки вторичные образуются в супераквальных ландшафтах с близким залеганием грунтовых вод в условиях анаэробно-биотического и протекания глеевых процессов, галогенеза и сульфидогенеза.

В условиях поступления обогащённых сульфатами техногенных вод усиливаются процессы сульфидогенеза. При взаимодействии сульфидов с углекислотой, выделяющейся при разложении органических остатков, образуются углекислые соли и сероводород.

Процессы галогенеза являются определяющими в формировании бактериальных сообществ ризосферы растений, произрастающих в зоне влияния отходов калийной промышленности [10]. На техногенно-засоленных почвах преобладают галофильные бактерии семейства Halomonadaceae и галотолерантные бактерии классов Actinobacteria и Bacilli.

Материалы и методы. Исследованы свойства засоленных пойменных почв долины р. Ленва у станции перекачки шламохранилища на одном из рудоуправлений Верхнекамского месторождения калийных солей в Пермском крае. В нескольких метрах от места исследования разгружаются два родника с хлоридно-натриевым составом с минерализацией более 20 г/л. Минерализация вод р. Лёнва на территории исследования (ниже 1 км от шламохранилища) составляет в среднем 13,9 г/л.

В местах выхода на поверхность подземных засоленных вод в виде родников и площадной разгрузки в долине р. Ленва в августе 2019 г были отобраны образцы солончака вторичного глеевого (Chloridic Gleyic Fluvisol Solonchak (Hypersalic, Loamic, Technic). Глубина почвенного профиля не превышала 40 см вследствие высокого уровня подземных вод. Почва характеризуется наличием рыжей корки мощностью около 2 см, под ней залегает гелеобразный почти черного цвета горизонт с характерным запахом сероводорода мощностью 10–12 см с высоким содержанием слабо разложившихся растительных остатков. Ниже залегает глеевая порода сизовато-серого цвета. В качестве фоновой почвы отобрана проба аллювиальной почвы на расстоянии около 30 м от реки.

Проведено исследование химических и микробиологических свойств засоленных почв. В образцах почв определяли актуальную и обменную кислотность - потенциметрическим методом, ЕКО – по методу Бобко-Аскинази-Алешина (ГОСТ 17. 4. 4. 01-84), содержание органического вещества – спектрофотометрическим методом по ГОСТ 26213-91. Ионы в водной вытяжке определяли: HCO_3^- титриметрическим методом по ГОСТ 26424-85, Cl^- - ионы – аргентометрическим титрованием по ГОСТ 26425-85, SO_4^{2-} – турбидиметрическим методом по ГОСТ 26426-85, Ca^{2+} и Mg^{2+} - комплексометрическим титрованием по ГОСТ 26428-85, содержание Na^+ и K^+ - методом пламенной фотометрии по ГОСТ 264247-85.

Для изучения таксономического разнообразия микрофлоры образцов засоленных почв проведен их метагеномный анализ по генам 16S рПНК на платформе MiSeq (Illumina). Препараты хромосомной ДНК бактерий получали из концентрированной почвенной вытяжки с последующим фракционированием фенольным методом, модифицированным для выделения ДНК из актиномицетов и экстракцией с помощью наборов Diatom DNA Prep 200 в соответствии с инструкцией производителя.

Результаты и обсуждения. Кислотность солончака вторичного меняется с глубиной со слабокислой до нейтральной. Наибольшая емкость катионного обмена характерна для верхнего 10-сантиметрового слоя и составляет 30-40 мг-экв/100 г, с глубиной снижается в 2–2,5 раза. Содержание органического вещества в верхнем 5-сантиметровом слое солончака вторичное очень высокое, 20–40 %, что связано с наличием неразложившихся остатков травянистых растений, глубиной 30 см показатель снижается до 3–4 %. Содержание обменного натрия варьирует от 36 до 12 ммоль/100 г, во всех пробах превышает содержание обменного магния, и обменного кальция в слое 0–10 см, что связано с поступлением хлоридно-натриевых вод на поверхность почвы из загружающихся родников.

Фоновая аллювиальная почва характеризуется нейтральной реакцией, содержание органического вещества варьирует от 2 до 4%, ЕКО 16 мг-экв/100 г, обменный кальций 12–19 ммоль/100 г, содержание обменного натрия 0,2–1,4 ммоль/100 г. Фоновая аллювиальная почва характеризуется отсутствием засоления.

В составе водной вытяжки солончака вторичного преобладают хлориды натрия и кальция (таблица 1), сумма токсичных солей свидетельствует о высокой степени засоления, в особенности верхнего слоя, обогащенного железистыми соединениями. Накопление солей обусловлено миграцией веществ с фильтрационными водами в ландшафте.

Таблица 1 – Ионный состав водной вытяжки исследованных почв

Точка отбора	№. образца	Глубина отбора, см	мг/100 г							Σтс*, %
			HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	
№. 1, солончак вторичный	1. 1	0-2	9,1	3940,5	1398,4	150,1	678,0	123,6	201,6	5,9
	1. 2	2-7	9,7	2680,2	848,7	85,0	458,0	100,8	249,6	3,5
	1. 3	7-14	4,8	1242,5	499,1	19,8	190,0	30,0	62,4	1,8
	1. 4	14-40	5,4	1917,0	749,8	14,8	252,0	45,6	62,4	2,7
№. 2, солончак вторичный	2. 1	0-2	14,6	11253,5	3799,6	450,0	1874,0	405,6	216,9	17,0
	2. 2	2-6	4,2	6106,0	2300,0	400,1	1000,0	150,0	484,8	9,5
	2. 3	6-9	16,4	3905,0	1375,4	505,0	546,0	87,0	230,4	5,9
	2. 4	9-25	6,7	1970,2	749,8	289,7	200,0	52,8	67,2	3,3
№. 3, аллювиальная почва	3. 1	0-11	43,3	532,5	17,4	5,8	14,2	3,0	0	<0,01
	3. 2	11-22	41,4	291,1	133,4	7,0	57,0	9,8	4,8	<0,01
	3. 3	22-40	6,1	35,5	151,8	5,0	56,0	14,7	0	<0,01

Примечание: * - сумма токсичных солей

В условиях обводненности, высокого содержания легкорастворимых солей и слаборазложившихся растительных остатков происходит формирование сероводородной обстановки, при этом с повышением содержания железа, которыми обогащены зональные почвы, формируется гидротроиллитовый горизонт, гидротроиллит – обводненный сульфид железа. Он залегает во вторичных солончаках ниже окислительного горизонта рыжего цвета, обогащенного аморфными соединениями железа. Формирование гидротроиллитового горизонта в сульфатных условиях происходит за счет деятельности микроорганизмов.

Известно, что основным фактором, оказывающим влияние на состав микробного сообщества в почвах, является соленость среды, а не температура, рН или другие физико-химические показатели [5]. В результате сравнительного метагеномного анализа было показано, что основную часть микробиоты исследованных образцов солончака вторичного составляют представители филума Proteobacteria, доминирование которых характерно для засоленных почв [7]. В образцах с точек отбора 2 и 3 с увеличением глубины увеличивается доля представителей филумов Actinobacteria и Saccharibacteria. В образце 3-3, взятом с глубины 22–40 см также появляется существенное количество 4,24 % Firmicutes, 11,26 % – Verrucomicrobia и 4,09 % – Saccharibacteria.

Определено соотношение семейств бактерий микробиоты исследуемых почв. Установлено, что в поверхностном образце с точки отбора № 1 77 % составляли альфа-протеобактерии рода Acidisoma, известные как ацидофильные и психротолерантные микроорганизмы, способные существовать в условиях с труднодоступными органическими веществами. Также в большом количестве присутствовали ацидофильные бактерии родов Acinetobacter, Acidocella и Acidophilium. Согласно [2] штаммы, принадлежащие к родам Acidocella и Acidophilium, способны катализировать восстановление железа в кислой среде. В образцах из более глубоких слоев (1. 2 и 1. 3) преобладали анаэробные гамма-протеобактерии рода Shewanella (79 и 75 %), являющиеся морскими микроорганизмами, способными к восстановлению железа и марганца, денитрификации, а также к продукции сульфидов [8].

Во всех указанных горизонтах около 4 % от общего числа бактерий составляли представители рода Alicyclobacillus – термоацидофильные аэробные бациллы, способные к окислению железа и серы. Также бактерии Alicyclobacillus предположительно проводят окисление двухвалентного железа в гиперсоленых водных экосистемах с высокой кислотностью [6]. В горизонте, залегающем на глубине от 14 до 40 в условиях анаэробноза состав микрофлоры, кардинально менялся. Наиболее многочисленными (26,38 %) на данной глубине были бактерии рода Thiomicrospira, известные как

анаэробные облигатно хемолитотрофные бактерии, окисляющие серу и водород [3]. Также в значительном количестве (9-10%) обнаружены бактерии родов *Marinomonas* и *Idiomarina*, известные как обитатели морской среды. 7% составляли эpsilon-протеобактерии рода *Sulfurimonas*, способные к денитрификации, фиксации углекислого газа, окислению серы и водорода [3]. Представители всех основных обнаруженных родов известны способностью заселять засоленные среды или обитать в морской среде. Стоит отметить, что выявленное микробное разнообразие несколько отличается от ранее представленных данных о засоленных местообитаниях. В частности, нами не было зафиксировано присутствие галофильных гаммапротеобактерий семейства *Halomonadaceae*, обычно населяющих высокоминерализованные среды [10]. Такое различие может быть связано с кислотностью среды в условиях настоящего исследования, поскольку большинство представителей *Halomonadaceae* являются нейтрофилами и, за редким исключением, алкалофилами.

В пробах солончака вторичного в точке № 2 состав микробиоты значительно отличается от вышеописанного. Доминирующими в верхнем слое были хемогетеротрофные альфапротеобактерии рода *Sphingomonas*, представители которого часто обнаруживаются в местах антропогенного загрязнения и являются деструкторами широкого спектра токсичных соединений [4]. 10,1 % составляли гаммапротеобактерии рода *Acinetobacter*, являющиеся представителями различных обводненных сред. В более глубоких слоях (от 2 до 9 см) доминирующим родом были псевдомонады – повсеместно распространенные в почвенных и водных средах бактерии, а также имеющие большое значение как патогены растений и животных. Глубже 9 см преобладали актинобактерии рода *Gaiella*, впервые выделенные в Португалии из образцов минеральной воды с высоким содержанием ионов Na^+ и Cl^- [1]. Бактерии, способные к сульфуризации и десульфуризации также встречались в существенном количестве, а именно роды *Desulfuromonas*, *Sulfurimonas*.

В верхних слоях почвы в точке отбора 3 доминирующим родом также были гаммапротеобактерии рода *Pseudomonas*, в то время как на глубине более 22 см доминировали хемогетеротрофные альфапротеобактерии *Sphingomonas*. Также в слоях 2 и 3 наблюдалось присутствие бацилл рода *Alicyclobacillus*, способных к окислению железа и серы.

Вывод. Воздействие техногенных засоленных вод на пойменные экосистемы приводит к образованию вторичных солончаков с высокой степенью засоления. При доминировании обычных для почвенной среды протеобактерий в исследованных образцах солончака вторичного значительную долю составляли бактерии, характерные для морской и других высокоминерализованных сред, ацидофильные и ацидотолерантные бактерии.

Во всех точках отбора в существенном количестве обнаружены представители разных родов железо- и сероокисляющих бактерий, что объясняет отложение соединений железа на поверхности не проточных обводненных зон долины.

Деятельность бактерий совместно с природными и техногенными факторами способствует образованию гидротроиллитового горизонта в солончаках вторичных в условиях сульфидогенеза и высокого содержания железистых минералов.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект №. 2019-0858.

Список литературы

- 1 Albuquerque, L. et al. *Gaiella occulta* gen. nov., sp. nov., a novel representative of a deep branching phylogenetic lineage within the class Actinobacteria and proposal of Gaiellaceae fam. nov. and Gaiellales ord. nov. // Systematic and Applied Microbiology. 2011. – Vol. 34. – P. 595–599.
- 2 Coupland, K., Johnson D. Evidence that the potential for dissimilatory ferric iron reduction is widespread among acidophilic heterotrophic bacteria // FEMS Microbiology Letters. 2008. – 279. – P. 30–35.
- 3 Hansen M, Perner M. A novel hydrogen oxidizer amidst the sulfur-oxidizing *Thiomicrospira* lineage // ISME J. 2015. – 9(3). – 696–707.

- 4 Leys, N. et al. Occurrence and phylogenetic diversity of Sphingomonas strains in soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons // Applied and environmental microbiology. 2004. – Vol. 70. – P. 1944–1955
- 5 Lozupone, C., Knight R. Global patterns in bacterial diversity // Proc Natl Acad Sci USA. 2007. – Vol. 104. – P. 11436–11440
- 6 Lu, S. et al. Extremophile microbiomes in acidic and hypersaline river sediments of Western Australia // Environmental Microbiol Rep. 2016. – Vol. 8. P. 58–67.
- 7 Ma, B., Gong J. A meta-analysis of the publicly available bacterial and archaeal sequence diversity in saline soils // World J Microbiol Biotechnol. 2013. – Vol. 29. – P. 2325–2334.
- 8 Satomi, M. The Family Shewanellaceae // In: Rosenberg E., DeLong E. F., Lory S., Stackebrandt E., Thompson F. (eds) The Prokaryotes. Springer, Berlin, Heidelberg. 2014. – P. 597–625.
- 9 Хайрулина, Е. А. Геоэкологические проблемы при разработке калийных месторождений / Е. А. Хайрулина, В. С. Хомич // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. Proceedings of the Tula States University. Sciences of Earth. 2018. – №. 2. – С. 112–126.
- 10 Разнообразие бактерий, выделенных из района разработок месторождения калийных солей Верхнекамья / О. В. Ястребова [и др.] // Вестник Пермского университета. Серия Биология. 2009. – Выпуск 10 (36) – С. 124–129.

E. A. Khayrulina¹, A. Yu. Maksimov², N. V. Mitrakova¹, P. Yu. Maltseva¹

MICROBIOLOGICAL DIVERSITY OF SOILS UNDER THE CONDITIONS OF TECHNOGENIC HALOGENESIS

¹*Institute of Natural Science, Perm State National Research University, Perm, Russia,*

elenakhay@gmail.com, mitrakovanatalya@mail.ru, inbox.98@bk.ru

²*Institute of ecology and genetics of microorganisms, RAS, Ural Branch, Perm, Russia, almaks1@mail.ru*

Abstract. As a result of the activities of enterprises for the extraction of potassium-magnesium salts, the processes of technogenic halogenesis are activated, which leads to a change in the microbiological diversity and chemical properties of soils in floodplain landscapes. The secondary solonchak is characterized by strong salinity and bacteria that live in marine and highly mineralized environments.

Keywords: halogenesis, soil salinity, sulfidisation process, secondary solonchak, microorganisms.

УДК 574. 472:598. 244. 2:502. 2. 05 (476)

А. В. ЧЕРНОМОРЕЦ, И. Э. САМУСЕНКО

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ ПТИЦ НА КРУПНОМ ПОЛИГОНЕ ОТХОДОВ ГОРОДА МИНСКА В ПЕРИОД ПОСЛЕГНЕЗДОВЫХ КОЧЕВОК И ОСЕННЕЙ МИГРАЦИИ В 2016–2021 ГОДАХ

ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам»,

г. Минск, Республика Беларусь,

avchernomoret@mail.ru, isamusenko@gmail.com

Анализ шестилетних данных обследований территории полигона ТКО г. Минска показал значительные флуктуации численности присутствующих на территории птиц. Установлено, что значение антропогенных кормов возрастает для озерной чайки и галки, о чем свидетельствует существенный рост их численности в отдельные периоды. А использование территории полигона грачом в некоторые сезоны, наоборот, снижается.