

## ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА ЭПИФИТОВЗВЕСИ ДЛЯ ИНДИКАЦИИ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО ТЕХНОГЕНЕЗА

Рассмотрена возможность изучения экологического состояния водных объектов с использованием в качестве индикатора обрастаний – эпифитовзвеси. Проводились отбор гидрохимических проб и эпифитовзвеси, аналитические исследования с определением широкого комплекса потенциально токсичных элементов в отобранных пробах. Охарактеризованы водные объекты в природных и природно-техногенных ландшафтах с высоким уровнем техногенной нагрузки.

### Введение

Изучение техногенных территорий имеет длительную историю. За многие годы исследований накоплен огромный материал, на основе которого в последнее время сделаны попытки математического моделирования миграции элементов в геосистемах. Однако, как показывают результаты, современный уровень моделирования должен базироваться на большем эмпирическом материале, который можно получить только в широкомасштабных модельных экспериментах, поставленных технической деятельностью человека в различных природных условиях. Локальные техногенные геохимические аномалии, образующиеся в сфере воздействия конкретных предприятий горнопромышленного профиля, рассматриваются как природно-техногенные полигоны для исследования процессов вовлечения химических веществ в природные миграционные потоки и взаимодействия техногенных веществ с природными субстратами [3]. Именно поэтому такие локальные техногенные аномалии, образовавшиеся в горнопромышленной зоне г. Медногорска (Оренбургская область) и г. Карабаша (Челябинская область), представляют собой перспективные полигоны для изучения. Эти районы в значительной мере трансформированы горнопромышленным техногенезом, являясь одними из ярких примеров деградации окружающей среды. Наряду с наземными экосистемами трансформируются и водные системы. При изучении водных систем широко используется мониторинг воды, влекомой взвеси и донных отложений. В настоящем исследовании предлагается расширить этот перечень и использовать в качестве индикатора подводные обрастания – эпифитовзвесь.

### Объекты исследований

Колчеданные и полиметаллические месторождения являются основой сырьевой базы цветной металлургии Урала. Наряду с этим участки разрабатываемых месторождений, где совмещены добыча, обогащение и металлургический передел руд, представляют собой основные узлы нарушенных экосистем, а зачастую и техногенные пустоши. Не меньшее техногенное воздействие на окружающую среду оказывают также отработанные месторождения (закрытые карьеры, отвалы вскрышных пород и некондиционных руд). В рассматриваемых геотехнических системах (ГТС) основные миграционные потоки, формирующие техногенные аномалии токсичных элементов, связаны с аэральным переносом тонкодисперсной взвеси (пылевая компонента из труб медеплавильных предприятий и хранилищ отходов добычи и переработки сульфидных руд) и потоками кислых рудничных вод от отвалов вскрышных пород и некондиционных руд [1, 5].

В Карабашской ГТС отходы, расположенные непосредственно в долине реки Сак-Элга, при разложении которых образуются кислые воды с рН 2.5–3.5, за последние 70 лет «выжгли» все живое на данной территории. Похожая экологическая ситуация, но в меньшем масштабе наблюдается в г. Медногорске. Здесь также происходит образование кислых вод за счет разложения сульфидной массы в отвалах Блявинского и Яман-Касинского месторождений. Работы по оценке экологической обстановки в г. Карабаш выполнялись несколькими организациями [1, 5]. Одним из новых субстратов при мониторинге водных объектов, не охваченных ни одним из предшествующих исследований, являются подводные обрастания – эпифитовзвесь. Эпифитовзвесь – взвесь, осаж-

денная на макрофитах. Этот термин [6] предлагается использовать для обозначения минерального тонкодисперсного детрита, образующегося на подводных растениях. Чаще используется термин «перифитон», поскольку он тождественен понятию «обрастания». Но в настоящее время термин «перифитон» используется биологами для обозначения животных и растений, обитающих в толще воды на живых и неживых субстратах вне зависимости от их происхождения и степени подвижности [2]. Некоторые исследователи [4] полагают, что перифитон является в первую очередь органоминерным образованием и поэтому характеризуется наличием органического углерода [4]. С позиций геоэкологии эти определения не противоречат друг другу, поэтому предлагаем называть эпифитовзвесью все (биологические объекты и продукты их жизнедеятельности, минеральный детрит), что нарастает на подводные части макрофитов. Такое определение отражает совокупность всего состава эпифитовзвеси и не требует введения нового термина. В данном субстрате биологическая и минеральная часть настолько взаимосвязаны, что изучение их представляется возможным только совместно. Минеральная часть эпифитовзвеси очень похожа на взвесь влекомую и донные отложения, биологическая же часть и есть собственно перифитон.

Исследователи перифитона показали, что благодаря приуроченности к субстрату и его сезонному развитию он играет первостепенную роль при оценке качества воды и позволяет судить о ее среднем загрязнении за определенный промежуток времени, предшествующий исследованию. Другими словами, анализ перифитона может указывать на ранее имевшее место ухудшение качества воды, не отмеченное, быть может, по единовременным химическим пробам [7, 8, 10]. То же утверждение можно отнести и к эпифитовзвеси, поскольку перифитон в ее составе способствует закреплению минеральных частиц на поверхности растений и трансформации их в новое состояние: растворенные элементы, органические соединения, нерастворимые осадки. Одновременно с этим минеральные соединения формируют видовое разнообразие перифитонных организмов, их распространен-

ность и биомассу, что позволяет биологам использовать перифитон для определения степени загрязнения водоемов, т.е. в качестве биологического индикатора. Изучение перифитона в комплексе с минеральной компонентой, т.е. эпифитовзвеси, позволяет не только выявить загрязненные участки водотоков, но и установить характер загрязнения, его объемы и возможные источники [4, 6, 9, 10].

#### **Материалы и методы исследований**

Высокая информативность перифитона и, следовательно, его высокая индикационная способность в первую очередь обусловлены видовым составом организмов. Обычно в нем преобладают прикрепленные формы, а подвижные – обитают среди них в поисках пищи и убежища.

Каждый погружившийся в воду предмет становится местом поселения микроорганизмов, водорослей, животных и участком закрепления минеральной влекомой взвеси. В перифитонный состав эпифитовзвеси входят представители трех основных функциональных групп: автотрофные организмы-продуценты (водоросли); гетеротрофные организмы-консументы (простейшие, черви, членистоногие и др.); организмы-редуценты (бактерии и грибы). Причем основу обрастаний составляют в основном формы, для которых характерны высокий уровень метаболизма, короткие жизненные циклы и способность быстро реагировать на изменения внешней среды.

Исследования проводились в летний и летне-осенний сезоны, являющиеся для данных районов периодом максимальной активизации гидробиологических процессов.

Выбирались гидрологические створы для отбора проб, охватывающие различные по уровню загрязнения и общей антропогенной нагрузке участки водотоков (фоновые участки, загрязненные участки, зоны самоочищения и др.). В процессе отбора проб фиксировались температура воды, расстояние от берега и глубина отбора, визуальная характеристика водотока, распространенность обрастаний по балльной шкале. С поверхности листьев и стеблей макрофитов сбор эпифитовзвеси производили, смывая оброст мягкой кисточкой. Растения, имеющие узкие листовые пластинки, помеща-

ли в склянку с деионизированной водой и тщательно ополаскивали. Для биологического анализа можно сохранить оброст на растении, поместив листовую пластинку в широкогорлую банку с водой и с большим запасом воздуха. Пробы эпифитовзвеси обрабатывали непосредственно после отбора или в срок, гарантирующий сохранность живого материала (приблизительно до 6 часов после отбора проб). Хранение проб в процессе транспортировки в стационарную лабораторию происходило в холодильнике при температуре +2 °С в течение 1–2 суток. Видовое разнообразие перифитона определяли на микроскопе Nikon.

Для химического и других видов анализа пробы высушивали при температуре 35 °С в сушильном шкафу. Цель высушивания – прекращение микробиологических процессов в пробах и связанного с ними биохимического изменения образцов. Подготовленные пробы хранили до анализа в бумажных или полиэтиленовых пакетах. Для определения валовых концентраций металлов пробы разлагали смесью концентрированных  $\text{HCl} + \text{HNO}_3 + \text{HF}$  в автоклавах с однокамерной реакционной емкостью из фторопласта в течение 5 часов при температуре 150 °С. После отгонки фторидов при двойном упаривании кислотных экстрактов с  $\text{HNO}_3$  концентрации большинства тяжелых металлов определялись методом атомно-абсорбционной спектроскопии в пламенном

варианте на приборе AAS Perkin-Elmer 3110. Этот метод анализа обеспечивает предел обнаружения микроэлементов порядка 0.1–0.01 мкг/мл и ниже. Точность метода 1–3%. Низкие содержания элементов, особенно Pb и Cd, определялись на атомно-абсорбционном спектрофотометре Aanalyst 300 с электротермической атомизацией (атомизатор HGA-850 и система автодозирования проб AS-90).

Определение фазового состава минерального детрита эпифитовзвеси выполнено методом порошковой дифрактометрии на дифрактометре ДРОН-2.0.

### Результаты исследований и их обсуждение

Выполнен отбор проб эпифитовзвеси в пределах Медногорской и Карабашской ГТС. Отбор перифитона с растительного субстрата дублировался отбором проб с каменного материала в придонных частях водотоков, а также сопровождался отбором гидрохимических проб. Производился отбор проб в фоновых участках р. Миасс, Сак-Элга (Карабаш), Новоземка, Херсонка, Блява (Медногорск), в техногенных участках – «Рыжий ручей», р. Серебрянка (Карабаш), в ручьях отвалов Блявинского месторождения, р. Херсонка (Медногорск), а также участках смешения природных вод с техногенными: р. Миасс, р. Сак-Элга (Карабаш), р. Блява, р. Херсонка, р. Жиркиля (Медногорск) (рис. 1).

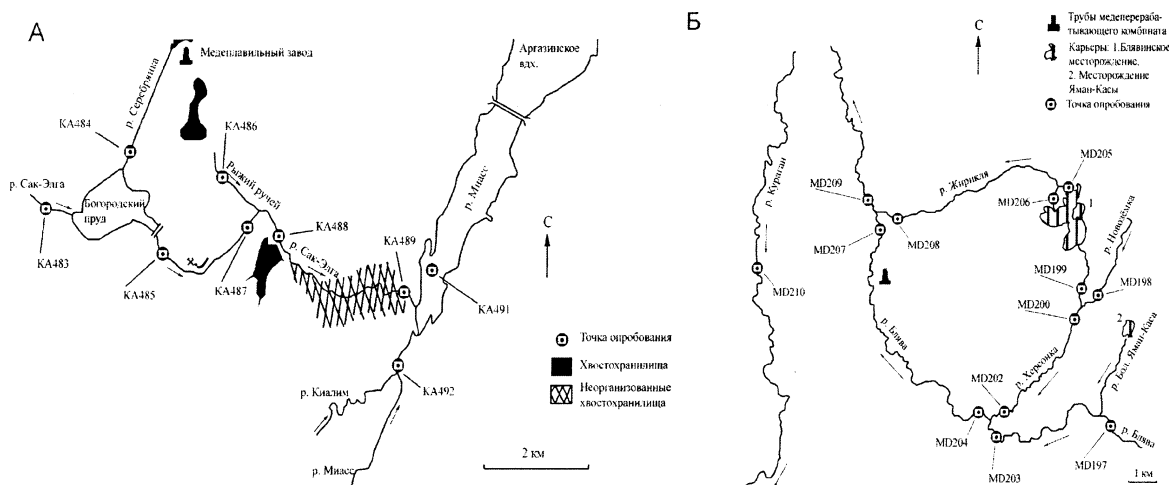


Рисунок 1. Схема опробования эпифитовзвеси и поверхностных вод в зоне влияния Карабашской (А) и Медногорской (Б) ГТС

*Химический состав поверхностных вод и эпифитовзвеси*

Таблицы 1 и 2 показывают способность эпифитовзвеси, подобно сорбенту, накапливать тяжелые металлы. Аномальность концентраций металлов настолько ярко выражена, что даже рассматривая только эпифитовзвесь, без гидрохимических проб, можно проследить зону техногенного воздействия. Как видно из таблиц 1 и 2, в зоне техногенеза концентрации всех халькофильных элементов, характерных для горнопромышленного техногенеза, превышают фоновые в 40–50 раз. В зонах смешения природных водотоков с техногенными это отношение резко уменьшается до 10–15 раз, что главным образом связано с разбавлением техногенных вод. Соответственно отношение концентраций элементов напрямую связано с отношением дебитов водотоков.

*Минеральный состав по результатам дифрактометрии*

Минеральный состав эпифитовзвеси отражает особенности седиментации в бассейнах осадконакопления (поверхностные водотоки). В условно фоновых участках (р. Сак-Элга выше впадения в Богородский пруд) минеральный состав отражает литологические особенности пород. На рис. 2А приведена типичная дифрактограмма фазового состава минеральной части эпифитовзвеси с фонового участка. Основные фазы представлены кварцем, серицитом, хлоритом, амфиболом и

минералами из группы полевых шпатов. Рентгеноаморфная составляющая, как правило, в таких случаях представлена органикой. Это подтверждается визуальными наблюдениями степени эвтрофикации водотоков в фоновых точках отбора проб. Аналогичные дифрактограммы получены и для условно фоновых участков Медногорской ГТС.

На участке техногенных вод («Рыжий ручей» в Карабаше и подотвальные ручьи в Медногорске) в составе минеральной части эпифитовзвеси присутствуют как «остаточные» фазы сульфидсодержащих отходов добычи и переработки руд – кварц, серицит, пирит, так и новообразованный гипс (рис. 2Б). Ввиду рентгеноаморфности на дифрактограммах не фиксируется основная новообразованная фаза гидроксида железа – ферригидрит. Это же относится к участкам водотоков после слияния кислых рудничных вод с субнейтральными водами. Образованный при гидролизе хлопьевидный осадок бурого цвета, составляющий, по визуальной оценке, более 70% минеральной части эпифитовзвеси, не дает отражений на дифрактограмме (рис. 3А). При уменьшении количества аморфной фазы четче прорисовываются пики фаз, отвечающих седиментационному материалу, и фоновых и техногенных водотоков. Например, эпифитовзвесь р. Миасс после впадения р. Сак-Элга представлена теми же фазами, что и в фоновой точке, плюс хорошо фиксируемые отражения, соответствующие пириту (рис. 3Б). Таким образом,

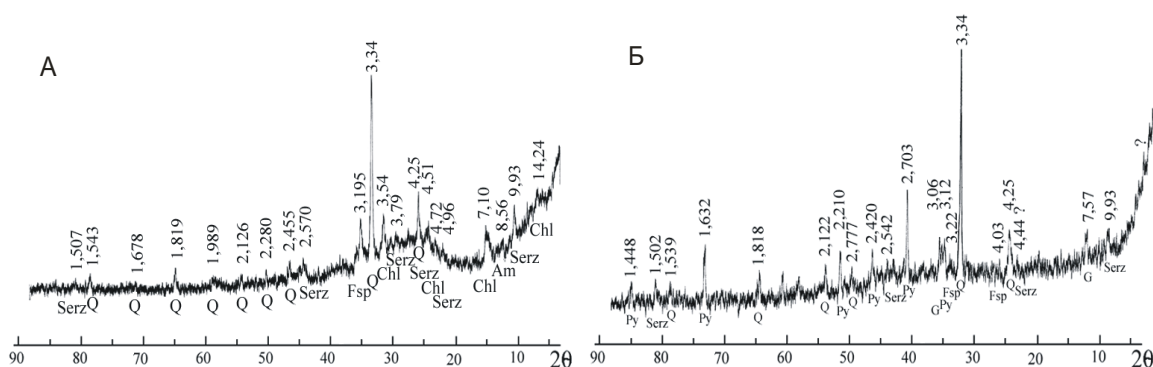


Рисунок 2. Фазовый состав эпифитовзвеси на фоновом участке р. Миасс (КА 492) (А) и на техногенном участке водотока – «Рыжий ручей» (КА 486) (Б) (Q – кварц, Serz – серицит, Fsp – полевой шпат, Chl – хлорит, Py – пирит, G – гипс, Am – амфибол)

минеральная часть эпифитовзвеси лишь подтверждает характер и особенности техногенных процессов в исследуемых водотоках.

#### Видовой состав

Проведено исследование видового состава водорослей перифитона, как наиболее распространенного компонента эпифитовзвеси (табл. 3, 4), что позволило сделать выводы о процессах, протекающих в экосистеме.

Так в фоновых участках (рН вод 7.2–7.9, с концентрациями Cu, Zn, Mn 1–10 мкг/л), к которым относятся точки опробования КА483, КА492, MD197, MD198, наблюдается широкое развитие перифитона и обилие видового состава с преобладанием автотрофных организмов. Это является показателем хорошего качества воды в пределах опробованных водотоков.

При высоких концентрациях тяжелых металлов и низком показателе рН наступает состояние метаболического и экологического регресса, которое характеризуется частичным или полным угнетением развития перифитонного сообщества. Этот процесс наблюдается в точках КА484, КА486, КА489, КА491, MD205, MD206, MD199, MD202, MD208 (рН вод 2.8–6.0, с концентрациями Cu, Zn, Mn 20–85 мг/л). Такое состояние перифитона указывает на сильное загрязнение водотока.

В р. Сак-Элга после Богородского пруда визуальное загрязнение не наблюдается и не видны признаки угнетения перифитонных сообществ. Хотя наличие таких организмов, как эвглены, которые могут переходить на гетеротрофный тип питания, указывает на то, что водоток протекал по гумифицированному участку, поэтому вода в нем (на данном участке) может быть невысокого качества.

Таблица 1. Результаты анализа гидрохимических проб и проб эпифитовзвеси поверхностных водотоков на территории Карабашской ГТС

	рН	Eh, (мВ)	%, μS	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (мг/л)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Pb (ppm)	Cd (ppb)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Li (ppm)
КА483	6.53	239	102	42.0	<u>22.2*</u> 16198 **	4.7 881	1.62 6497	4.85 9568	0.08 31461	0.004 1411	0.02 405	0.11 628	0.009 50.3	0.004 н.а.	н.а. 120	0.02 5340	0.12 516	0.06 134	<0.01 11.57
КА484	7.01	255	956	85.4	126.5 10987	30.4 4664	12.94 13889	34.4 9743	1.02 15941.1	2.11 1549	0.09 9536	9.8 26949	н.а. 251	н.а. н.а.	н.а. 1513	<u>9.23</u> 13682 0	н.а. 373	0.25 118	0.03 10.36
КА485	7.21	240	416	57.9	47.9 10168	15.9 686	5.07 5911	14.8 7013	0.18 144260	0.16 4588	0.02 2454	0.90 8766	0.023 203	0.006 н.а.	н.а. 351	0.22 47590	0.38 386	0.14 53	0.01 7.01
КА486	2.89	432	3710	н	334.8 6444	203.3 570	7.51 6279	27.4 2974	432 362690	31.4 416	20.0 1058	59.4 1190	2.14 38	1.74 н.а.	н.а. 194	318.70 8260	28.1 141	0.98 50	0.12 6.61
КА487	7.26	250	475	71.9	52.6 7819	19.1 1963	5.63 8233	14.3 7457	0.01 113401	0.27 8544	0.02 3438	0.88 12479	0.030 430	0.005 н.а.	н.а. 756	0.18 54370	0.44 337	0.14 191	0.01 9.84
КА488	3.32	444	1149	н	106.9 3409	62.0 224	5.70 2381	16.9 2055	53.9 215727	6.88 514	4.08 12187	11.8 4903	н.а. 97	н.а. н.а.	н.а. 332	32.30 36420	н.а. 154	0.25 20	0.03 5.14
КА489	7.07	245	480	109,8	49.3 4157	26.9 3023	4.41 4308	13.5 4762	7.71 156841	1.17 1531	0.32 4222	1.45 6652	н.а. 310	н.а. н.а.	н.а. 363	0.33 25700	н.а. 223	0.12 44	0.01 10.58
КА491	3.46	545	971	н	105.7 3623	19.8 598	5.74 3333	15.7 1377	32.5 151427	4.41 276	2.09 938	5.3 630	н.а. 134	н.а. н.а.	н.а. 250	11.98 8330	н.а. 98	0.21 35	0.02 9.78
КА492	7.93	230	349	143,3	33.6 6422	19.9 5388	3.93 8664	12.5 7414	0.03 39138	0.005 1996	0.01 193	0.10 289	0.091 164	0.003 н.а.	н.а. 100	0.01 430	0.21 466	0.08 108	<0.01 12.93

\*вода / \*\* эпифитовзвесь

Вниз по течению картина меняется, и в 50 м выше от впадения «Рыжего ручья» (точка КА485) перифитон находится в состоянии метаболического прогресса, который сопровождается усложнением экологической структуры и увеличением количества автотрофных организмов. Состав перифитона становится близок к фоновому участку р. Сак-Элга.

Слияние кислых вод с нейтральными водами (точки КА488, КА489, MD200, MD204, MD209) приводит к различным последствиям. В некоторых водотоках погибают практически все живые организмы (точки КА488, MD200, MD207). В отобранных на таких участках пробах наблюдались единичные представители перифитона. Но они мо-

Таблица 2. Результаты анализа гидрохимических проб и проб эпифитовзвеси поверхностных водотоков на территории Медногорской ГТС

	pH	Eh, (мВ)	γ, (μS)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (мг/л)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	K (ppm)	Na (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Pb (ppm)	Cd (ppb)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Li (ppm)
MD197	8.07	312	1401	216.5	<u>209*</u> 2513**	44 453	<u>2.40</u> 12590	<u>112</u> 8981	<u>0.03</u> 41073	<u>0.004</u> 5430	<u>0.01</u> 191	<u>0.01</u> 1030	<u>0.01</u> 88	<u>0.02</u> 20	<u>0.16</u> 34.4	<u>0.05</u> 4500	<u>0.49</u> 257	<u>1.03</u> 99	<u>0.01</u> 25.43
MD198	8.25	280	1078	238	<u>167</u> 10615	<u>32</u> 723	<u>1.80</u> 11782	<u>98</u> 14269	<u>0.02</u> 39655	<u>0.003</u> 1200	<u>0.01</u> 193	<u>0.01</u> 273	<u>0.01</u> 63	<u>0.02</u> 14	<u>0.17</u> 28.1	<u>0.04</u> 1720	<u>0.41</u> 577	<u>0.82</u> 178	<u>0.01</u> 21
MD199	4.78	395	4230	9.15	<u>371</u> 405	<u>430</u> 259	<u>3.60</u> 634	<u>89</u> 1229	<u>0.08</u> 9050	<u>13</u> 172	<u>9.80</u> 5372	<u>33</u> 438	<u>0.23</u> 51	<u>0.35</u> 18	<u>0.82</u> <10	<u>74.85</u> 1050	<u>0.36</u> 62	<u>1.46</u> 6	<u>0.01</u> 1.95
MD200	7.54	330	1786	189.1	<u>240</u> 922	<u>123</u> 365	<u>1.90</u> 2282	<u>99</u> 8031	<u>0.04</u> 17928	<u>2.08</u> 952	<u>0.34</u> 28884	<u>26</u> 6773	<u>0.05</u> 66	<u>0.07</u> 15	<u>0.19</u> 12.4	<u>10.74</u> 21720	<u>0.40</u> 756	<u>1.06</u> 58	<u>0.01</u> 1.99
MD202	7.99	230	1501	176.9	<u>217</u> 2862	<u>90</u> 687	<u>2.20</u> 6912	<u>76</u> 8536	<u>0.04</u> 31884	<u>0.009</u> 2239	<u>0.01</u> 8339	<u>0.04</u> 5529	<u>0.02</u> 120	<u>0.03</u> 52	<u>&lt;0.1</u> 40.9	<u>0.66</u> 23910	<u>0.55</u> 205	<u>0.93</u> 90	<u>0.01</u> 15.67
MD203	8.01	260	1221	210.4	<u>202</u> 1836	<u>41</u> 333	<u>2.50</u> 6986	<u>95</u> 9421	<u>0.10</u> 33567	<u>0.003</u> 2455	<u>0.01</u> 8467	<u>0.06</u> 5511	<u>0.02</u> 153	<u>0.03</u> 31	<u>0.23</u> 54.1	<u>0.36</u> 26050	<u>0.59</u> 165	<u>1.10</u> 100	<u>0.01</u> 18.79
MD204	7.92	270	1283	204.3	<u>193</u> 27134	<u>52</u> 3068	<u>2.50</u> 13387	<u>97</u> 17010	<u>0.04</u> 28505	<u>0.003</u> 3111	<u>0.01</u> 310	<u>0.05</u> 2253	<u>0.02</u> 65	<u>0.02</u> 27	<u>0.19</u> 41.8	<u>0.48</u> 11170	<u>0.55</u> 530	<u>1.09</u> 270	<u>0.01</u> 16.37
MD205	7.74	260	2260	137.2	<u>398</u> 9055	<u>102</u> 642	<u>1.50</u> 13879	<u>128</u> 13363	<u>0.05</u> 33825	<u>0.54</u> 8912	<u>0.13</u> 1706	<u>0.27</u> 2992	<u>0.04</u> 174	<u>0.05</u> 52	<u>0.20</u> 47.9	<u>3.28</u> 32250	<u>0.54</u> 334	<u>1.87</u> 119	<u>0.01</u> 23.85
MD206	4.10	350	9750	6.1	<u>310</u> 1970	<u>1560</u> 583	<u>1.70</u> 1858	<u>147</u> 4717	<u>4.22</u> 52285	<u>134</u> 141	<u>134</u> 17455	<u>94</u> 3201	<u>2.3</u> 47	<u>4.43</u> 31	<u>1.71</u> 59.0	<u>578</u> 14710	<u>0.13</u> 151	<u>2.54</u> 106	<u>0.05</u> 4.08
MD207	7.75	237	1202	192.1	<u>193</u> 1083	<u>50</u> 507	<u>2.06</u> 3915	<u>69</u> 4063	<u>0.04</u> 165157	<u>2.50</u> 795	<u>0.06</u> 1853	<u>0.68</u> 476	<u>0.05</u> 76	<u>0.04</u> 23	<u>0.29</u> 23.5	<u>8.5</u> 1460	<u>0.62</u> 128	<u>1.32</u> 56	<u>0.01</u> 14.42
MD208	7.62	245	1513	100.6	<u>343</u> 0	<u>68</u> 388	<u>1.98</u> 4837	<u>38</u> 4741	<u>0.04</u> 168823	<u>0.034</u> 378	<u>0.01</u> 15943	<u>0.23</u> 3339	<u>0.02</u> 92	<u>0.03</u> 25	<u>0.28</u> 319.5	<u>1.93</u> 36390	<u>0.73</u> 0	<u>1.25</u> 104	<u>0.01</u> 18.78
MD209	7.80	242	1275	140.3	<u>226</u> 1492	<u>54</u> 398	<u>2.12</u> 11421	<u>66</u> 5063	<u>0.03</u> 81453	<u>1.17</u> 2239	<u>0.02</u> 12764	<u>0.42</u> 12341	<u>0.03</u> 79	<u>0.02</u> 16	<u>0.16</u> 352	<u>6.49</u> 142800	<u>1.93</u> 171	<u>1.40</u> 143	<u>0.01</u> 19.39
MD210	7.95	237	820	192.1	<u>134</u> 4625	<u>35</u> 877	<u>2.15</u> 3842	<u>46</u> 3917	<u>0.15</u> 101158	<u>0.032</u> 1888	<u>0.01</u> 21858	<u>0.21</u> 15022	<u>0.01</u> 148	<u>0.02</u> 40	<u>0.13</u> 184.9	<u>1.82</u> 111500	<u>1.71</u> 141	<u>1.30</u> 94	<u>0.01</u> 4.14

\* вода / \*\* эпифитовзвесь

Таблица 3

№ пробы	Название водного объекта	Тяжело-металлическая нагрузка и pH	Прозрачность (см)	Кол-во минеральной фазы, %	Комплекс доминирующих водорослей перифитона
КА-492	р. Миасс (фоновый участок)	Фоновые характеристики 7.9	25	5	Диатомовый: <i>Melosira undulate</i> с высокой биомассой. В малом количестве встречаются: <i>Synedra ulna</i> , <i>Navicula sp.</i> , Остальные группы водорослей представлены единично (зеленые, десмидиевые, синезеленые)
КА-486	«Рыжий ручей»	Критическая 2.8	10	99.9	Отсутствуют живые формы
КА-488	Р. Сак-Элга (после слияния с техногенными водами)	Очень высокая 6.2	6	90 с панцирями <i>Trschelomonas sp. volvocina</i>	Встречаются в малом количестве зеленые ( <i>Scenedesmus</i> ) и криптофитовые водоросли ( <i>Cryptomonas sp.</i> )

Таблица 4

№ пробы	Название водного объекта	Тяжело-металлическая нагрузка и pH	Комплекс доминирующих водорослей перифитона
КА-198	р. Новоземка (фоновый участок)	Фоновые характеристики 8.25	Богатый диатомовый комплекс, доминант мезосапроб <i>Nitzschia recta</i> , <i>Nantzschia elongate</i> . Доминант перифитона – Chlorophyta <i>Ulothricophycees (Enteromorpha flexuora)</i> – распространённый вид обрастаний текущих вод, морфологических изменений нет
КА-206	«Рыжий ручей» с отвалов	Критическая 4.1	Отсутствуют живые формы
КА-207	р. Блява (после слияния с техногенными водами)	Очень высокая 7.75	Минеральная взвесь рыжего цвета. Единично встречаются нитчатые обрастатели Chlorophyta пор. <i>Zygnematales</i> с деформированными хроматофорами

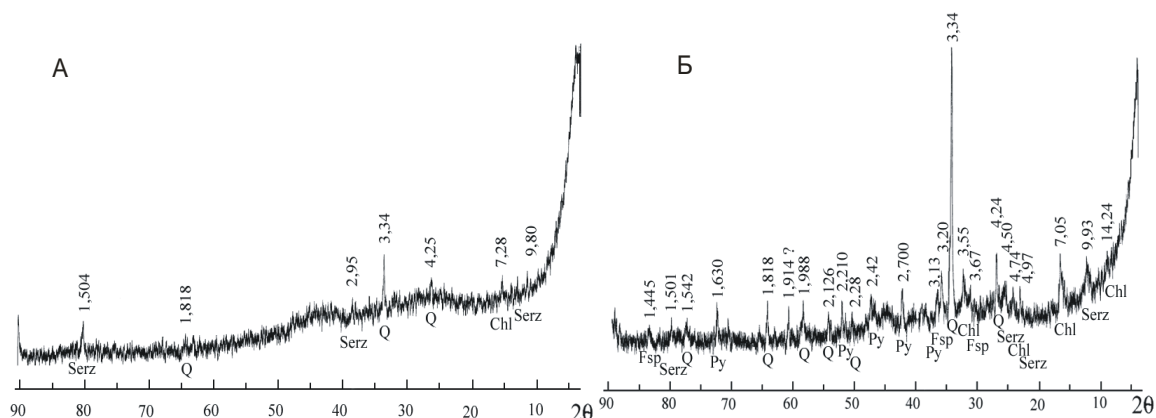


Рисунок 3. Фазовый состав эпифитовзвеси в участках слияния техногенных вод с водами р. Сак-Элга (КА 488) (А) и р. Миасс (КА 489) (Б)

гут быть связаны с привносом извне, как, например, в точке КА488, где единичные клетки *Cryptomonas sp.*, вероятнее всего, связаны с водами городских очистных сооружений. В других водотоках, главным образом вследствие сильного разбавления загрязненных вод природными, видовой состав перифитона практически не отличается от фоновых участков природных водотоков. Здесь можно говорить об экологическом регрессе, поскольку наблюдается резкое уменьшение биомассы перифитонных сообществ с увеличением бактериально-минеральной фазы, что, в свою очередь, указывает на загрязнение воды (мутность составляет 6–10 см).

### **Выводы**

Высокая кислотность техногенных вод и повышенная – в участках смешения водотоков оказывает губительное действие на биоту в целом. Зачастую отсутствие или угнетение живых организмов объясняется именно низкими значениями показателя рН. В настоящей работе выявлена тесная связь между

тяжелометалльной нагрузкой и состоянием перифитонных сообществ эпифитовзвеси, что хорошо видно из данных таблиц 1 и 2.

Проведенные исследования подтвердили возможность использования эпифитовзвеси для определения экологического состояния поверхностных водотоков. Индикаторными показателями в методике являются химический и минеральный состав, распространенность обрастаний, обилие видового состава, наличие индикаторных типов организмов, соотношение автотрофных и гетеротрофных организмов, соотношение живого вещества и минеральной фазы.

Выбранные районы исследования не случайны. Карабашская и Медногорская геотехнические системы находятся в двух различных климатических зонах: гумидной (Карабаш) и семиаридной (Медногорск). Дальнейшие углубленные исследования позволят оценить степень универсальности метода оценки эпифитовзвеси для характеристики горнопромышленного техногенеза в пределах различных климатических зон.

### **Список использованной литературы:**

1. Белогуб Е.В., Удачин В.Н., Кораблев Г.Г. Карабашский рудный район. Материалы к путеводителю геолого-экологической экскурсии. Научное издание. Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. 40 с.
2. БСЭ (в 30 томах). М.: Советская Энциклопедия, 1975. Т.19, с. 420.
3. Елпатьевский П.В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. М.: Наука, 1993. 253 с.
4. Елпатьевский П.В., Ковкековдова Л.Т. Мышьяк в техногенных и природно-техногенных компонентах в долине р. Рудной (Приморский край) // Вестник ДВО РАН, 2001. №5. С. 78–86.
5. Нестеренко В.С. Карабашская техногенная система // Проблемы экологии Южного Урала, 1997. №3. С. 4-13.
6. Янин Е.П. Ртуть в эпифитовзвеси р. Нура // Геология и геофизика, 2000. Т. 41, №7. С. 1074-1077.
7. Шарипова М.Ю. Состав и эколого-ценотические особенности эпифитных водорослей речных экосистем как эктонных сообществ // Вестник ОГУ, 2005. №6. С. 123-126.
8. Adonis G., L.Malacalza L., Effect of an Industrial Discharge on Water Quality and Periphyton Structure in a Pampean Stream // Environmental Monitoring and Assessment, 2002, 75: P. 107–119.
9. Lewis M.A., Weber D.E., Stanley R.S., Moore J.C., Dredging impact on an urbanized Florida bayou: effects on benthos and algal-periphyton // Environmental Pollution, 2001, 115. P.161–171.
10. Lewis M.A., Weber D.L., Moore J.C., An Evaluation of the Use of Colonized Periphyton as an Indicator of Wastewater Impact in Near-Coastal Areas of the Gulf of Mexico // Environmental Contamination and Toxicology, 2002. P. 11-18.

**Исследования выполнены при финансовой поддержке УрО РАН, правительства Челябинской области (№009.05.06-04.АМ и №007.05.06-06.БХ), интеграционного проекта СО – УрО РАН «Геохимия окружающей среды горнопромышленных ландшафтов Сибири и Урала», проекта Министерства образования и науки РФ (проект РНП.2.1.1.1840), программы поддержки научных исследований ЮУрГУ.**

**Автор благодарит В.Н. Удачина за советы при подготовке рукописи и Л.В. Снитыко за определение видового состава водорослей.**

**Статья рекомендована к публикации 12.03.08**