



ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ПОВЕРХНОСТИ СТАРОВОЗРАСТНЫХ ОТВАЛОВ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ В КУЗБАССЕ



Артамонова В.С.
Институт почвоведения и агрохимии
СО РАН, Новосибирск
E-mail: artamonovavs@yandex.ru;
artamonova@issa-siberia.ru

Методы и объекты:

- Химический анализ проб проводили методом энергодисперсионного рентгенфлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА-СИ) в Сибирском Центре синхротронного и терагерцового излучения ЦКП «СЦСТИ» в ИЯФ СО РАН на станции локального и сканирующего рентгенфлуоресцентного элементного анализа "Комплекс ВЭПП-4 – ВЭПП-2000" (аналитик – Ю.П. Колмогоров). Повторность определения 3-кратная. Приводятся средние данные, стандартные ошибки которых не превышают 10%. Исследования выполнены при участии проф. д.геол.-мин.н. ИНГТ СО РАН Бортниковой С.Б., за что автор данного сообщения выражает ей большую признательность.
- Выявление *Azotobacter chroococcum* и анализ состояния популяций (n=150) выполнены по традиционным методикам. Для определения площади ореола роста использовали программу «Corel». Статистическая обработка выполнена с применением пакета стандартных программ Statistica (Stat Soft), $p \leq 0,05$.

Объект № 2 - Отходы цианирования колчеданно-полиметаллических руд, пос. Урск, граница Кемеровской и Новосибирской обл. Возраст отвала отходов извлечения Au – около 100 лет, S – 800 м².

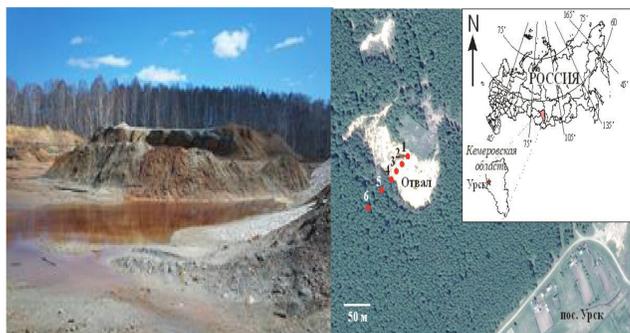


Табл. 3. Содержание металлов и металлоидов в шлаках (г/т), г. Белово.

Элемент	Исходный шлак, металлы и металлоиды (min – max)	Нейтрализованный шлак, металлы и металлоиды (min – max)	Кларк химических элементов в верхней части земной коры, мг/кг
Cu	4460–4500	4100–4200	47
Zn	12000–12100	8900–10300	83
Pb	640–670	540–620	16
Cr	6,5–7,5	5,8–6,4	83
Ag	64–73	52–66	0,07
Cd	44–53	25–36	0,13
As	1849–1900	1550–1600	1,7
Sb	69–89	78–82	0,5
Sn	10–12	5,8–9,0	2,5
Mo	85–88	57–68	1,1
Sr	520–580	440–470	340

- Объект № 2.** Ореол роста бактерии (n=150) вокруг частиц мелкозёма на отвале цианирования формировался со скоростью 3,56 - 3,78 мм²/сут., на расстоянии от отвала 20 м, в почве под лесом, в 3,5 - 4,4 раза медленнее, со скоростью 1,03 мм²/сут., на удалении 40 м – 0,87 мм²/сут.

Табл. 4. Рост азотобактера вокруг комочков мелкозёма на Эшби

Место отбора	S	M	σ	v, %	Доверительный интервал		НСР p≤0,05
					-95,00	+95,00	
Вершина отвала	Мелкозём	4,71	0,61	14	4,61	4,82	0,10
Подножье отвала	Ореол	16,75	3,27	20	16,22	17,28	0,53
Почва около отвала, 20 м	Мелкозём	4,12	0,76	18	4,0	4,24	0,12
Почва около отвала, 40 м	Ореол	15,57	1,86	12	15,27	15,87	0,30
Почва около отвала, 60 м	Мелкозём	3,42	0,62	18	3,32	3,52	0,10
Почва около отвала, 80 м	Ореол	3,52	0,53	15	3,43	3,60	0,09
Почва около отвала, 100 м	Мелкозём	3,48	0,45	13	3,41	3,55	0,07

- Сибирский Федеральный округ занимает лидирующее положение в России по объёму образования техногенных отходов.
- По данным Росстата в 2017 г. доля отходов в Кемеровской области – Кузбассе составила 71% по стране. Это вскрышные породы, золошлаки, отходы чёрной и цветной металлургии.
- По прогнозам в ближайшие 50 лет их объём увеличится за счёт разработки новых месторождений.
- При этом возрастёт нагрузка на природные экосистемы, в том числе почвенные.
- Но в последнее время окружающая среда всё чаще рассматривается как важнейшее условие экономического развития.

Объект №1. Абагурское хвостохранилище - отходы агломерации железосодержащей руды, г. Новокузнецк, до и после облесения через 40 лет



Табл. 2. Максимальные значения элементов на поверхности отходов и в прилегающих почвах: Fe в %, Mn-U-в г/т

Элемент	Кларк в земной коре, мг/кг [Виноградов, 1962]		Почва
	Мах кол-во	на отвале	
Fe	4,5	24,6	2,9
Mn	1000	750	56
Co	18	7,1	0,74
Cu	47	1100	54
Zn	83	120	45
Pb	16	2500	120
Hg	0,083	106	44
As	1,7	680	66
Se	0,05	86	12
Sb	0,5	716	5,4
Bi	0,009	31	3,8
Te	0,001	38	1,2

- Объект №1.** Бактерии присутствовали в жизнедеятельном состоянии (n=150), активно размножались вокруг корней злаков, формируя ореол роста вокруг частиц мелкозёма со скоростью 2,38 мм²/сут. На участке без растений и вокруг корней донника скорость деления клеток была ниже и ореол роста нарастал меньшими темпами - 1,5 мм²/сут. Рост бактерии в прикорневой зоне злаков сопровождался свечением, особенно в присутствии мелких песчаных частиц: 0,20; 0,16; 0,125; 0,063 мм.

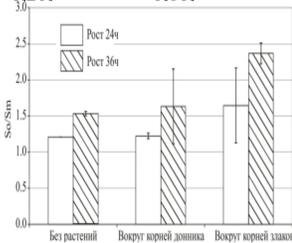


Рис. 1. Рост *Az. chroococcum* на участке под лесными насаждениями (So-площадь ореола роста бактерии, Sm – площадь комочка, в мм²)

- Рис. 2.** *Az. chroococcum*, выявленный из отходов цианирования, при пересеве на среде Эшби диссоциировал с образованием колоний, отличающихся по морфологической структуре)



Выводы:

- Az. chroococcum* в жизнедеятельном состоянии обнаружен в почвоподобных образованиях в поверхностной толще отходов добычи Fe после их 40-летнего облесения, цианирования Au на участках 100-летнего самозарастания отвалов, а также нейтрализованных шлаков, образованных при извлечении Zn.
- Развитие бактерии в техногенных условиях сопровождается слизееобразованием, свечением, насильственным (голодным) антагонизмом, синтезом экзопродуктов биологически активного действия. При культивировании на простой питательной среде в ходе пересевов азотобактер диссоциирует с образованием фенотипически разных колоний, что обеспечивает устойчивость бактерии к экотоксикантам. Наибольшая скорость формирования ореола роста бактерии и разнообразие диссоциантов обнаружено в ходе почвообразования на 100-летних самозарастающих отходах цианирования.
- Метаболиты бактерии, которыми инокулировали семена горчицы белой, проявили ростстимулирующий эффект.

- Сегодня ТО, накопленные в СФО за многие десятилетия, представляют резервную материальную базу (неиспользуемую должным образом), а также очевидный источник экологического неблагополучия, в том числе почв.
- Сокращение уже накопленных отходов предполагается достичь путём экологически безопасной консервации. Она подразумевает озеленение, в том числе облесение, поверхности ТО.
- Для улучшения корневого питания фитопоселенцев планируется привлечение почвоулучшителей, экологически значимых микроорганизмов, в том числе симбиотических и ризосферных бактерий группы PGPR.
- Однако особенности роста бактерий в техногенных условиях не изучены. Наша цель – исследовать популяции *Azotobacter chroococcum*, выживающих на отходах арсеносульфидных руд после извлечения: 1) Fe (в хвостах агломерации); 2) Au (в отвалах цианирования руды); 3) Zn – в клинкерах электротермического извлечения из сфалеритового концентрата полиметаллических руд.

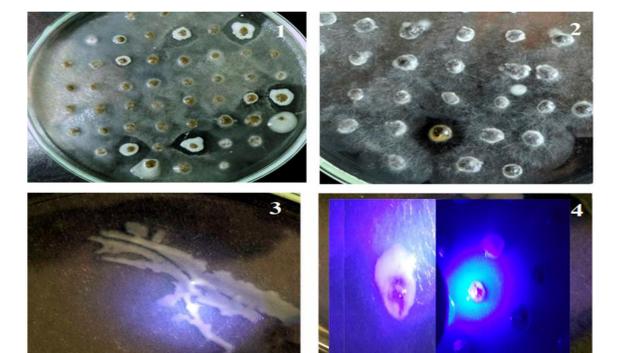
Табл. 1. Содержание элементов вокруг корней растений под основными насаждениями (через 35 рекультивации)

Показатель	Без растений	Злаки	Донник	Кларк
pH	6.3	8.0	5.7	
Ca*	8.4	14	8.0	2.96
Fe*	26	13	25.9	4.65
Mn*	0.48	0.53	0.43	0.1
Cr	520	240	490	83
V	500	210	420	90
Ni	100	147	70	58
Cu	490	680	420	47
Pb	270	90	260	16
Sr	530	390	200	340
Mo	22	9.2	18	1.1
Br	32	5.2	36	2.1
As	990	500	1110	1.7

- Объект № 3.** Отвалы пирозвлечения Zn из сфалеритового концентрата (Беловский цинковый завод, Кемеровская обл.). За 70 лет в городе на промплощадке предприятия накопились тонны клинкера площадью около 20 га. С 2000 г. завод обанкротился, но лежалые отходы локально самовозгорались. С 2013 г. компания ООО «Рециклинг» начала реализацию проекта «Ликвидация опасного объекта – обезвреживание отходов БЦЗ и рекультивация участков нарушенных земель». На территории промышленной зоны заложены опытные участки, они подвержены нейтрализации и фитомелиорации. Испытан эффект инокуляции семян бактерией.



- На участке без растений *Az. chroococcum* проявлял насильственный (голодный) антагонизм (фото 1,2), вокруг корней злаков – флуоресценцию (фото 3,4). Вокруг корней донника обнаружен ризоидный тип роста (фото 3).



- На объекте № 3 азотобактер в жизнедеятельном состоянии обнаружен только на нейтрализованном шлаке. Ореол роста бактерии (n=150) вокруг частиц мелкозёма формировался со скоростью 0,73±0,01 мм²/сут. в первые 24 часа и 0,92 ± 0,01 мм²/сут. - в последующие сутки. Бактерия выделяла экзопродукты розового цвета. Инокуляция семян горчицы белой метаболитами бактерии (6 часов) способствовала удлинению корней проростков и увеличению веса корней и ростков по сравнению с контролем (водой) и шлаком (без инокуляции) (Рис. 3).

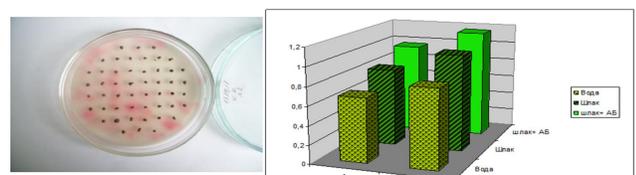


Рис. 3. Сухой вес (мг) горчицы белой (n=150) на нейтрализованном шлаке: 1- масса ростков; 2- масса проростков.