

## ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.75+631.4

DOI: 10.17072/1994-9952-2020-1-33-40.

В. С. Артамонова<sup>а</sup>, С. Б. Бортникова<sup>б</sup>, А. А. Оплеухин<sup>а</sup>

<sup>а</sup> Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>б</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

### ФИТОТОКСИЧНОСТЬ ЛЕЖАЛЫХ ОТХОДОВ ЦИАНИРОВАНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕЙ РУДЫ НА ТЕРРИТОРИИ НАКОПЛЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА

Представлены результаты исследований фитотоксичности лежалых отходов цианирования золотосодержащих руд и прилегающих почв на территории накопленного экологического ущерба. Установлено, что они жизнепригодны для овса посевного только в вершинной части старого отвала, но морфометрические показатели корней и ростков обнаруживают эффект торможения; горчица обнаруживает летальный исход во всех пробах. В почвенной среде проявилось ингибирование корней, особенно горчицы, но ростки оказались выше у горчицы. Суммарный вес ростков и корней овса превышал таковой горчицы в 2–3 раза. Показано, что лежалые отвалы жизнеобитаемы, в них присутствуют жизнедеятельные токсобные азотобактерии, отличающиеся от почвенных обитателей. Стратегия роста бактерий направлена на быстрое воспроизводство клеток, но в дальнейшем они быстро теряют подвижность, способность к размножению. Это ограничивает их участие в пополнении среды обитания биогенным азотом и биологически активными веществами. В исследованных отходах и почвах присутствовал схожий набор токсикантов в количестве, превышающем их кларки в земной коре. Для снижения фитотоксичности предлагается проведение планирования отвалов и химической мелиорации техногенной поверхности. Это обеспечит повышение жизнестойкости растений, эффективности сидерации, ускорение формирования биогенности в корнеобитаемом слое, ускорит задержание техногенной поверхности, снизит миграцию экотоксикантов.

**Ключевые слова:** экологический ущерб; отходы цианирования; фитотоксичность; сидеральные растения.

V. S. Artamonova<sup>а</sup>, S. B. Bortnikova<sup>б</sup>, A. A. Opleuchin<sup>а</sup>

<sup>а</sup> Institute of soil Science and Agrochemistry, SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>б</sup> Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

### PHYTOTOXICITY OF STALE CYANIDATION WASTES OF POLYMETALLIC ORES IN AREAS OF ACCUMULATED ENVIRONMENTAL DAMAGE

The results of studies of phytotoxicity of stale cyanidation wastes of gold-containing ores and adjacent soils on the territory of accumulated environmental damage are presented. It is established that they are viable for oats sown only in the upper part of the old dump, but the morphometric indicators of roots and sprouts show the effect of inhibition; mustard detects a fatal outcome in all samples. The soil environment showed inhibition of roots, especially mustard, but the sprouts were higher in mustard. The total weight of oat sprouts and roots exceeded that of mustard by 2-3 times. It is shown that stale dumps are life-sustaining, they contain life-sustaining toxobacteria that differ from soil inhabitants. The growth strategy of the bacterium is aimed at rapid reproduction of cells, but in the future they quickly lose their mobility and ability to reproduce. This limits their participation in the replenishment of the habitat with biogenic nitrogen and biologically active substances. In the studied waste and soils, a similar set of toxicants was present in an amount exceeding their Clarks in the earth's crust. To reduce phytotoxicity during the planning of dumps and chemical reclamation of the technogenic surface. This will increase the plant viability, sideration efficiency, accelerate the formation of biogenicity in the root layer, accelerate the blackening of the technogenic surface, and reduce the migration of ecotoxicants.

**Key words:** environmental damage; cyanidation waste; phytotoxicity; sideral plants.

Одной из важнейших задач национальной программы «Экология» является ликвидация складированных на дневной поверхности промышленных отходов добычи и переработки полиметаллических

руд, в том числе путём рециклинга. В настоящее время проблема чрезвычайно актуальна, а её решение своевременно, поскольку в промышленных ре-

гионах страны сформировались территории (объекты) накопленного (прошлого) экологического ущерба (вреда) [Соловьянов, 2015], которые небезопасны для природы и людей в настоящее время.

Лежалые отходы цианирования сульфидных руд, представляющие собой многотоннажные массы отвальной пульпы, отделяемой после извлечения золота, являются источником хронического (продолжительного) загрязнения окружающей среды, деградации природных экосистем [Руководство ..., 2011]. Согласно Приказу Росприроднадзора № 193 они входят в список объектов с отягощённым прошлым [Об утверждении ..., 2012]. Их вредоносный характер выражается в формировании экологически опасных ореолов и потоков расщепления, негативно влияющих на состояние и метаморфизацию экосистем [Александрова, 2008]. Предотвращению создания интенсивных литохимических ореолов загрязнения экосистем отходами золотодобычи и переработки в настоящее время уделяется большое внимание за рубежом (Канаде, США, Индонезии, других странах). Россия не исключение, в техногенное загрязнение вовлечены уникальные горные территории Полярного и Южного Урала, Западной и Восточной Сибири, Якутии и Дальнего Востока, Хакасии и Горного Алтая, где природные экосистемы чрезвычайно ранимы и трудно восстанавливаемы.

Негативное влияние лежалых отходов сульфидсодержащих руд на экологию природной среды действует долговременно, поскольку их минеральная часть расслаивается (дифференцируется) в обстановке протекания окислительных процессов, образуются геохимические барьеры, формируются потоки кислого дренажа с высокими концентрациями металлов и металлоидов [Бортникова и др., 2006; Bortnikova et al., 2011; 2012]. В то же время технологические реагенты, в том числе цианиды ( $\text{NaCN}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{Ca}(\text{CN})_2$ ), длительно сохраняющиеся в толще отходов, подвергаются гидролизу, вступают во взаимодействие с кислотами, образуя синильную кислоту [Александрова, Липина, 2010]. Её образованию может способствовать серная кислота, пополнение которой обеспечивается за счёт микробиологического аэробного и анаэробного окисления. Нужно признать, что ранее технологические процессы обезвреживания цианидов до предельно допустимых значений не проводились в отличие от современных технологий цианирования руд. Повышенные концентрации цианидов в отвальной пульпе наиболее вероятны при золотодобыче сульфидсодержащего медистого сырья. Во-первых, вкрапленное в сульфидные минералы золото прочно с ними связано, что обуславливает использование повышенных концентраций цианидов для растворения металла. Во-вторых, в рудах категории «Б» попутным ценным компонентом может быть медь, которая рассматривается как вредная примесь, осложняющая процесс извлечения золота, хотя её получение в виде соответствующих товарных продуктов экономически оправданно.

Процесс осаждения золота из растворов осложняется переходящая в растворы медь, в том числе наиболее распространенными методами: цементацией на цинковую пыль и сорбцией на активированный уголь (варианты С1Р, С1Л), отчего расход цианидов возрастает [Лодейщиков, 2011]. Поэтому переработка медистых золотых руд с применением процесса цианирования представляет одну из главных проблем золотодобывающей промышленности XXI в. во всём мире. Естественное биоосвоение складированных отходов идёт чрезвычайно медленно, вокруг них регистрируются «мертвые» зоны, которые трудно поддаются рекультивации и revegetации.

Однако улучшение экологии в местах долговременного складирования отходов, как и продуктов обогащения – концентратов, вызывает большую проблему, поскольку они представляют экономическую привлекательность из-за присутствия промышленно значимых концентраций ценных металлов и металлоидов, ибо бывшие технологии их извлечения ориентировались на 1–2 компонента. В свою очередь, современные природоохранные и социальные запросы требуют снижения экологической нагрузки от техногенного загрязнения, что обуславливает поиск разных технологий создания защитных покрытий лежалых отходов, в том числе путём задернения и залесения.

Цель нашего экспериментального исследования заключалась в определении фитотоксичности отходов и почв на территории накопленного экологического вреда, в связи с вековым пребыванием отходов цианирования золотосодержащих сульфидных руд на дневной поверхности в Кемеровской области, и возможностью её снижения с участием сидеральных растений как потенциальных фитомелиорантов.

### Объекты и методы исследований

Отбор образцов для биологического и химического анализов был осуществлён с отвала лежалых отходов цианирования золотосодержащих руд (с прошлого века) и почв вокруг него. Отвал расположен в 300 м от жилых построек пос. Урск (Кемеровская область), отделён от него естественным берёзовым лесом, сформирован в 30–40-е годы прошлого века при отработке Белоключевского месторождения, типичен для территории золотодобычи в сибирском регионе. Описание отвала и информация об его составе приведены ранее [Bortnikova et al., 2019]. Данное месторождение Урского рудного поля характеризуется нахождением золота в серноколчеданной, колчеданно-полиметаллической, прожилково-вкрапленной медно-цинковой руде.

Для анализов были отобраны пробы отходов и прилегающих к нему почв. Пробы взяты из верхнего 20-сантиметрового слоя. Химический анализ предварительно высушенных и затем растертых проб осуществлялся методом ИСП-МС на масс-спектрометре высокого разрешения ElanDRC-e в химико-

аналитическом центре «Плазма» (ООО «ХАЦ «Плазма»), г. Томск. Для этого использовали стандартную методику НСАМ № 480-Х. Повторность определения химических элементов 3-кратная. В работе приведены средние арифметические данные, стандартные ошибки которых не превышают 10%. Биологические анализы выполнены в ИПА СО РАН, г. Новосибирск. Они предусматривали фитотестирование загрязнения с использованием овса посевного – *Avena sativa*, а также *Sinapsis alba* и определение развития азотобактерии – *Azotobacter chroococcum*, как показателя биологической активности отходов производства. Овёс и азотобактер входят в список показателей оценки эколого-гигиенической опасности отходов производства [МР 2.1.7.2297-07]. Фитотестирование отходов на семенах растений является обязательным, поэтому мы руководствовались данным нормативным документом, в котором сообщается также, что овёс даёт наиболее стабильные и воспроизводимые данные по сравнению с семенами других культур (пшеница, морковь и др.). Для определения всхожести семян и морфометрических показателей овса нами была увеличена повторность с 3 до 5, количество семян, как и в случае с горчицей составляло 25 в каждой чашке Петри. Для исследований были использованы семена, приобретённые в фирме «Агрос», с действующим сроком годности. Наш выбор овса и горчицы основывался также на том, что оба растения нашли ранее широкое применение в сельскохозяйственной практике, как сидеральные культуры, благодаря набору фитомелиоративных «услуг». Овёс способен снижать кислотность в среде обитания, повышать содержание доступных элементов в корнеобитаемом слое. Благодаря фитосидерофорам он толерантен к ряду тяжёлых металлов. Овёс продуцирует органические кислоты жирного ряда, авеноины, тритерпеновые кислоты, обеспечивающие устойчивость к фитопатогенам [Павловская и др., 2012; Солохина, 2013; Лушников, 2019]. Горчица более прихотлива к кислотности и содержанию биогенного азота, но, как и овёс, синтезирует ряд схожих по составу органических кислот, обеспечивающих ей устойчивость к вредителям и возбудителям болезней.

Определение встречаемости азотобактера в отходах и почве проводили традиционным методом. Для выявления характера роста колоний бактерии использовали среду Эшби, для определения скорости роста бактериального ореола вокруг комочков мелкого зёма применяли программу Corel.

Полученные результаты статистически обрабатывались с помощью компьютерных программ.

## Результаты и их обсуждение

Установлено, что в контроле (на воде) всхожесть семян овса была максимальной –  $87.2 \pm 2.8\%$  через 3-е сут. На отвале семена овса взошли только в вершинной части (проба № 20), составив  $24.5 \pm 6.0$

% за тот же срок. В вариантах с почвенными пробами (пробы № 22, 23) всхожесть семян овса была в 3.3 раза ниже контрольного значения (рис. 1) и не превысила  $26.4 \pm 5.6\%$ , что свидетельствует о загрязнении почв.

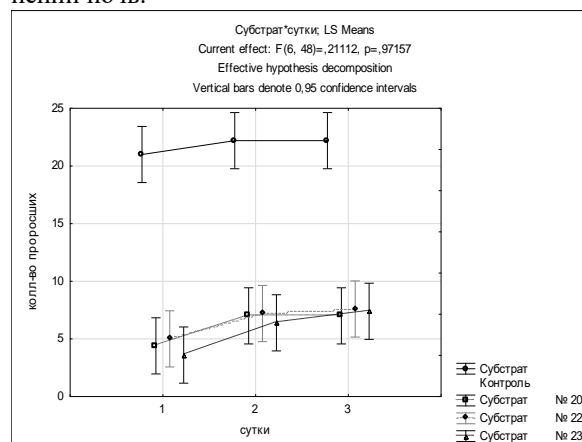


Рис. 1. Всхожесть семян овса в течение 3 сут.

В свою очередь, семена горчицы не взошли ни в одной пробе с отвала. В других вариантах (контроль, почва) всхожесть составила 75 и 76% соответственно.

Анализ морфометрических данных овса выявил подавление роста корней в вершинной части отвала (рис. 2) по сравнению с контролем. В почвенных вариантах длина корней была близка к контролю. Эффект торможения корней обнаружен и у горчицы в почвенных пробах. Но по сравнению с овсом они были длиннее, что, вероятно, объясняется видовой особенностью растений.

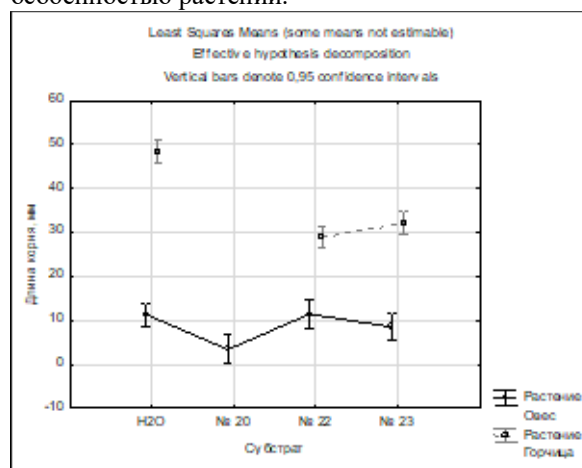


Рис. 2. Длина корней проростков овса и горчицы

Ростки овса на отвале, как и корни, уступали по высоте контрольному варианту (рис. 3). Но в почвенных вариантах высота проростков овса, а также и горчицы, превышала контроль.

Что касается весовых показателей, то на отвале наблюдалось снижение веса корней овса в 2.4 раза по сравнению с контролем, в то время как ростков – в 1.1 раза (табл. 1). В почвенных пробах вес корней овса, наоборот, увеличился в 1.5–1.7 раза, но вес ростков снизился по сравнению с контролем,

либо оказался близким к нему. Корни горчицы отреагировали иначе. Их вес был практически одинаковым во всех вариантах, но вес ростков превышал контрольный вариант. Вместе с тем, суммарный вес корней ростков овса превышал таковой горчицы (рис. 4).

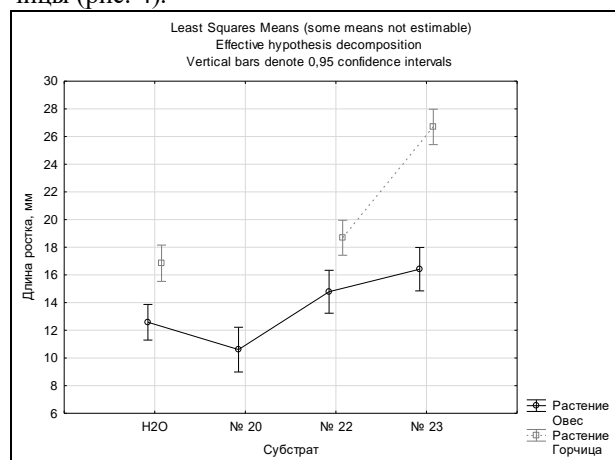


Рис. 3. Высота ростков овса и горчицы

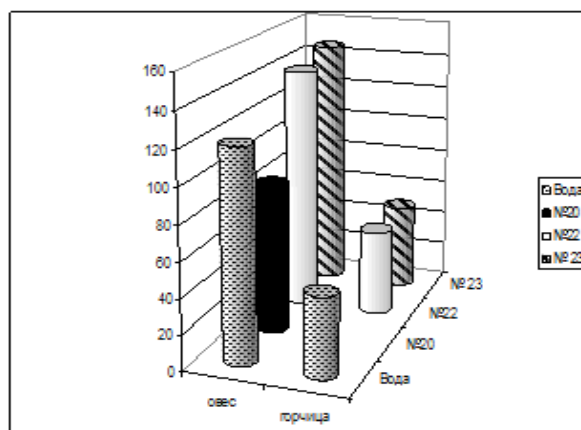


Рис. 4. Сухой вес (мг) проростков горчицы и овса в условиях техногенного загрязнения

Не исключено, что в период автотрофного питания проростков в варианте с веществом отходов и почвой позитивное влияние оказали метаболиты жизнедеятельного азотобактера (продуцента биогенного азота, ростовых веществ и хелатов).

Таблица 1

Вес корней и ростков овса и горчицы, мг

Условия роста (№ пробы)	Растение	Вес	M	σ	v, %	Доверительный интервал		НСР p≤0,05
						-95.00	+95.00	
H <sub>2</sub> O	Овёс	Корень	48	17.9	37	25.8	70.2	22.2
		Росток	72	26.8	37	38.7	105.3	33.3
	Горчица	Корень	9.6	2.7	28	2.9	16.33	6.7
		Росток	35.9	7.7	21	16.7	55.1	19.2
№ 20	Овёс	Корень	20	10	50	7.6	32.4	12.4
		Росток	66	50.3	76	3.5	128.5	62.5
№ 22	Овёс	Корень	82	24.8	30	51.1	112.9	30.9
		Росток	58	21.7	37	31.1	84.9	26.9
	Горчица	Корень	9.8	1.7	17	5.7	13.9	4.1
		Росток	39.3	5.6	14	25.4	53.2	13.9
№ 23	Овёс	Корень	70	43	61	16.6	123.4	53.4
		Росток	76	30.5	40	38.1	113.9	37.9
	Горчица	Корень	9.5	1.2	13	6.4	12.5	3.1
		Росток	40.1	7.3	18	22.1	58.2	18.1

Таблица 2

Рост азотобактера вокруг комочков мелкозёма на среде Эшби

Место отбора образца	S объекта	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
	Ореол	16.75	3.27	20	16.22	17.28	0.53
Подножье отвала	Мелкозём	4.12	0.76	18	4.0	4.24	0.12
	Ореол	15.57	1.86	12	15.27	15.87	0.30
Почва около отвала, 20 м	Мелкозём	3.42	0.62	18	3.32	3.52	0.10
	Ореол	3.52	0.53	15	3.43	3.60	0.09
Почва около отвала, 40 м	Мелкозём	3.48	0.45	13	3.41	3.55	0.07
	Ореол	3.02	0.33	11	2.97	3.07	0.05

Встречаемость азотобактерии во всех вариантах была 100%-ной. Однако её рост на среде Эшби в почвенных пробах регистрировался через 2-е сут., а в пробе отвала – через 4 сут.к (табл. 2). При этом,

ореол роста бактерии вокруг мелкозёма различался по скорости формирования. Так, в пересчёте на 1мм<sup>2</sup> вещества отходов с вершины отвала площадь

ореола была равна 3.56 мм<sup>2</sup>, и отобранного с нижней части отвала – 3.78 мм<sup>2</sup>, в то время как в почвах 1 мм<sup>2</sup> мелкозёма обеспечивал рост ореола лишь площадью 0.86–1.0 мм<sup>2</sup>; то есть скорость размножения клеток была разной, деление клеток на отвале шло быстрее, чем в почве, но на отвале молодые подвижные клетки быстро переходили в пассивное состояние, поэтому характер роста суточных колоний отличался от такового почвенного обитателя.

Колонии азотобактера с отвала были компактными, плотными с экзопигментацией, а колонии почвенного обитателя имели ризоидно-мицелиальный рост с ослизнением. При этом молодые клетки делились постоянно, передвигаясь к краям чашки Петри. Такое поведение бактерии объясняется, вероятно, хемотаксисом – азотобактер способен проявлять двигательные реакции, мигрируя от источника загрязнения в противоположную сторону.

Экзополисахариды, очевидно, способствовали поддержанию активного состояния молодых клеток и перемещению их на удалённое от мелкозёма расстояние.

Коллективное движение обнаруживают разные виды бактерий. В стрессустойчивости некоторых из них могут участвовать полиамины [Нестерова и др., 2017]. В микробиологической литературе известны факты изменчивости роста и морфологии стрептомицетов и бацилл под влиянием гербицидов, химических и физических мутагенов. Отмечалась смена мицелиального роста микромицетов на шарообразный в производстве антибиотиков. Поэтому атипичный рост азотобактера на исследованной нами территории накопленного экологического вреда, скорее всего, не артефакт. Такая стратегия грамотрицательной бактерии обеспечивает ей сохранность в неблагоприятных условиях развития.

Жизнеспособные микроорганизмы выявлены

ранее в шламах железной руды и в золошлаковых отходах Кузбасса [Артамонова и др., 2011], лежалых отходах обогащения сульфидных медно-цинковых руд в Уральском регионе [Черкасова и др., 2012], в отходах цианирования руд в Европе [Feketova et al., 2016]. Есть свидетельства активности жизнедеятельной микрофлоры в техногенных субстратах хвостохранилищ железной руды в Курской области [Пигарева, Абакумов, 2015], в отвалах вскрышных и вмещающих пород антрацита [Артамонова, Бортникова, 2018]. Интересно, что в отходах цианирования обнаружены также орибатиды – панцирные клещи [Feketova et al., 2016], которые участвуют в транспортировке конидий и гиф микромицетов, спор и клеток бактерий, а также в формировании детрита, тем самым выполняя важную экологическую роль. Эти обитатели горных тундр, альпийских и гольцовых экосистем [Леонов, 2019] не исключены и в техногенных минеральных отходах. Но их присутствие и участие в высвобождении биогенных элементов, как и в активизации биотического круговорота, требует подтверждения, проведения дополнительных исследований.

Химический анализ проб подтверждает присутствие экотоксикантов в отвале и в прилегающих почвах (табл. 3). В субстрате из верхней части отвала, где обнаружена всхожесть семян овса, не отсутствовала таковая у горчицы, были превышены кларковые значения Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, As, Sn, Se, Sb, Te, Bi. В почве обнаружен схожий состав химических элементов, которые тоже превзошли их кларки, что обусловлено многолетней близостью расположения почв к отходам. Сами отходы оказались колонизированы азотобактером прилегающих почв, который адаптировался к токсикантам и, будучи токсобным, размножался, пополняя микробный пул. Это следует рассматривать как позитивный момент в повышении биогенности отходов.

Таблица 3

**Максимальные значения химических элементов в лежалых отходах и прилегающих почвах: Fe в %, Mn–Bi – в г/т**

Элемент	Кларк в земной коре, мг/кг [Виноградов, 1962]	Мах кол-во на отвале	Вершина отвала	Почва
Fe	4.5	24.6	5.48	2.9
Mn	1000	750	320	56
Co	18	7.1	1.1	0.74
Cu	47	1100	91	54
Zn	83	120	110	45
Cd	0.13	0.6	0.53	0.10
Pb	16	2500	960	120
Hg	0.083	106	106	44
As	1.7	680	200	66
Sn	2.5	11	3.1	1.8
Se	0.05	86	78	12
Sb	0.5	716	280	5.4
Te	0.001	38	9.4	1.2
Bi	0.009	31	31	3.8

## Заключение

Таким образом, испытанные отходы цианирования золотосодержащих сульфидных руд токсичны для овса и горчицы. Наиболее устойчивым в период гетеротрофного и автотрофного питания к негативному воздействию техногенного субстрата оказался овёс, но и он оказался жизнестойким лишь на вершине отвала. Семена горчицы не взошли ни в одной пробе. На фитотоксичность влияли экотоксиканты, присутствующие в количествах, превышающих мировые кларки. Почвы, прилегающие к отвалу отходов, техногенно загрязнены, в них обнаружено высокое содержание схожего набора металлов и металлоидов, превысившее их кларковые значения. Однако в их присутствии семена овса и горчицы всходили, вес проростков овса превосходил контрольный вариант, вес проростков горчицы оказался близким к контролю. Такой реакции растений способствовала буферность почв и присутствие азотобактера, который обнаружен и на отвале отходов. Повсеместная встречаемость азотобактерии свидетельствует о её токсобности на территории накопленного экологического вреда. Стратегия развития азотобактерии в отходах и в почве разная, но и в той, и другой среде обитания азотобактер участвует в пополнении биогенной массы, в том числе азотсодержащей, что особенно важно для роста растений. Мы полагаем, что испытанные сидеральные культуры и токсобные штаммы азотобактера могут оказаться функционально активнее после планирования отвалов и проведения химической мелиорации субстрата. Мульчирование и запахивание наземной массы обеспечит повышение биогенности верхней толщи отходов, улучшение её жизнеспособности для фитопоселенцев. Травостой снизит распространение экотоксикантов в окружающую среду, в том числе на прилегающие природные экосистемы, в частности, почвенные, пострадавшие от многолетнего загрязнения.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ИПА СО РАН и ИНГГ № 0331-2019-0031 по бюджетному финансированию Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 19-29-05086 мк).

## Библиографический список

- Александрова Т.Н.* Развитие методов оценки и управления эколого-технологическими системами при рудной и россыпной золотодобыче и использовании вторичного сырья в Дальневосточном регионе: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Хабаровск, 2008. 32 с.
- Александрова Т.Н., Литина Л.Н.* Обоснование методов обезвреживания цианистых стоков при переработке золотосодержащих руд // Горно-информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 9. С. 116–122.
- Артамонова В.С., Бортникова С.Б.* О развитии *Azotobacter chroococcum* Beijerinck в старовозрастных отвалах антрацита // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 1. С. 60–72.
- Артамонова В.С.* и др. Эколого-физиологическое разнообразие микробных сообществ в техногенно-нарушенных ландшафтах Кузбасса // Сибирский экологический журнал. 2011. № 5. С. 735–746.
- Бортникова С.Б., Гаськова О.Л., Бессонова Е.П.* Геохимия техногенных систем. Новосибирск: ГЕО, 2006. 169 с.
- Виноградов А.П.* Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия, 1962. № 7. С. 555–571.
- Леонов В.Д.* Панцирные клещи (Acari: Oribatida) тундровых почв Кольского полуострова: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2016. 26 с.
- Лодейщиков В.М.* Исследование процесса и разработка аммиачно-цианистой технологии переработки медистых золотых руд: дис... канд. техн. наук. Иркутск, 2011. 155 с.
- Лушников А.В.* Обоснование использования некоторых растительных и грибных метаболитов в биотехнологии антибиотических препаратов: дис. ... канд. биол. наук. Орёл, 2019. 144 с.
- MP 2.1.7.2297-07. Обоснование класса опасности отходов производства и потребления по фитотоксичности. М., 2007. 9 с.
- Нестерова Л.Ю., Цыганов И.В., Ткаченко Ф.Г.* Роль биогенных полиаминов в регуляции скольжения у микобактерий // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2017. Вып. 3. С. 304–310.
- Об утверждении методических рекомендаций по проведению инвентаризации объектов накопленного экологического ущерба: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 25 апр. 2012 г. М., 2012. 16 с.
- Павловская Н.Е., Солохина И.Ю., Гнеушева И.А.* Исследование тритерпеновых сапонинов, полученных из корней овса посевного (*Avena sativa* L.) // Вестник Орёл ГАУ. 2012. № 2 (12). С. 48–50.
- Пигарева Т.А., Абакумов Е.В.* Биологические параметры почв и техногенных субстратов хвостохранилищ предприятия по добыче железной руды // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 1. С. 28–33.
- Руководство по оценке отчетов ОВОС горнорудных проектов. Русско-язычное издание: WWF России, 2011. 181 с.
- Соловьянов А.А.* Прошлый (накопленный) экологический ущерб: проблемы и решения. I. Источники и виды загрязнения // Экологический вестник России. 2015. № 3. С. 46–53.
- Солохина И.Ю.* Выделение авеноцина из овса посевного (*Avena sativa* L.) и изучение его физиолого-биохимических аспектов действия: автореф. дис.

- ... канд. биол. наук. Воронеж, 2013. 24 с.
- Черкасова Д.В. и др. Микробиологическая характеристика отвалов обогащения сульфидных медно-цинковых руд Уральского региона // Теоретическая и прикладная экология. 2012. № 3. С. 96–100.
- Bortnikova S., Bessonova E., Gaskova O. Geochemistry of arsenic and metals in stored tailings of a Co-Ni arsenide-ore, Khovu-Aksy area, Russia // Applied Geochemistry. 2012. Vol. 27, Iss. 11. P. 2238–2250.
- Bortnikova S. et al. Acid Mine Drainage Migration of Belovo Zinc Plant (South Siberia, Russia): Multidisciplinary Study // Water Security in the Mediterranean Region. Netherlands: Springer, 2011. P. 191–208.
- Bortnikova S. et al. Mechanisms of low-temperature vapor-gas streams formation from sulfide mine waste // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 647. P. 411–419.
- Feketová Z. et al. Biological properties of extremely acidic cyanide-laced mining waste // Ecotoxicology. 2016. Vol. 7, № 25 (1). P. 202–212.
- ### References
- Aleksandrova T.N. *Razvitie metodov ocenki i upravlenija ekologo-technologičeskimi sistemami pri rudnoi i rassypnoj zolotodobyče i ispol'zovanii vtoričnogo syr'ja v Dal'nevostočnom regione. Avtoref. diss. kand. biol. nauk* [Development of methods for evaluating and managing environmental and technological systems for ore and placer gold mining and the use of secondary raw materials in the far Eastern region. Abstract Doct. Diss.] Habarovsk, 2008. 32 p. (In Russ.).
- Aleksandrova T.N., Lipina L.N. [Justification of methods for neutralization of cyanide effluents in the processing of gold-containing ores]. *Gorno-informacionno-analitičeskij bjulleten' (naučno-techničeskij žurnal)*. N 9 (2010): pp. 116–122. (In Russ.).
- Artamonova V.S., Bortnikova S.B. [About the development of *Azotobacter chroococcum* Beiyrinck in old-age anthracite dumps]. *Teoretičeskaja i prikladnaja ekologija*. N 1 (2018): pp. 60–72. (In Russ.).
- Artamonova V.S., Androkhonov V.A., Sokolov D.A., Lyutykh I.V., Bulgakova V.V., Bortnikova S.B., Vodoleev A.S. [Ecological and physiological diversity of microbial communities in anthropogenically disturbed landscapes of the Kuznetsk basin]. *Sibirskij ekologičeskij žurnal*. N 5 (2011): pp. 735–746. (In Russ.).
- Bortnikova S., Bessonova E., Gaskova O. Geochemistry of arsenic and metals in stored tailings of a Co-Ni arsenide-ore, Khovu-Aksy area, Russia. *Applied Geochemistry*. V. 27, Iss. 11 (2012): pp. 2238–2250.
- Bortnikova S.B., Gasykova O.L., Bessonova E.P. *Geochimija technogennykh sistem* [Geochemistry of systems]. Novosibirsk, GEO Publ., 2006. 169 p. (In Russ.).
- Bortnikova S., Manstein Yu., Saeva O., Yurkevich N., Gaskova O., Bessonova E., Romanov R., Ermolaeva N., Chernuhin V., Reutsky A. Acid Mine Drainage Migration of Belovo Zinc Plant (South Siberia, Russia): Multidisciplinary Study. In: Scozzari A. & Mansouri B., Eds. *Water Security in the Mediterranean Region. International Evaluation of Management, Control and Governance Approaches*. Netherlands, Springer, 2011, pp. 191–208.
- Bortnikova S., Yurkevich N., Devyatova A., Saeva O., Shuvaeva O., Makas A., Troshkov M., Abrosimova N., Kirillov M., Korneeva T., Kremleva T., Fefilov N., Shigabaeva G. Mechanisms of low-temperature vapor-gas streams formation from sulfide mine waste. *Science of the Total Environment*. V. 647 (2019): pp. 411–419.
- Cherkasova D.V., Bakaeva M.D., Silishchev N.N., Loginov O.N. [Microbiological characteristics of dumps for the enrichment of sulfide copper and zinc ores in the Ural region]. *Teoretičeskaja i prikladnaja ekologija*. N 3 (2012): pp. 96–100. (In Russ.).
- Feketová Z., Hulejová V., Sládkovičová B., Mangová A., Pogányová A., Šimkovic I., Krumpál M. Biological properties of extremely acidic cyanide-laced mining waste. *Ecotoxicology*. V. 7, N 25 (1) (2016): pp. 202–212.
- Leonov V.D. *Pancirnye klešči (Acari: Oribatida) tundrovych počv Kol'skogo poluostrova. Avtoref. diss. kand. biol. nauk* [Carapace mites (Acari: Oribatida) of tundra soils of the Kola Peninsula. Abstract Cand. Diss.]. Moscow, 2016. 26 p. (In Russ.).
- Loginov O.N. [Microbiological characteristics of dumps for the enrichment of sulfide copper and zinc ores in the Ural region]. *Teoretičeskaja i prikladnaja ekologija*. N 3 (2012): pp. 96–100. (In Russ.).
- Lodeishchikov V.M. *Issledovanie processa i razrabotka ammiachno-cianistoj tehnologii pererabotki medistych zolotych rud. Diss. kand. tech. nauk* [Research of the process and development of ammonia-cyanide technology: Cand. Diss.]. Irkutsk, 2011. 155 p. Available at: <https://www.dissercat.com/content/issledovanie-protsesssa-i-razrabotka-ammiachno-tsianistoi-tekhnologii-pere-rabotki-medistych-z>. (reference date: 08.03.2020). (In Russ.).
- Lushnikov A.V. *Obosnovanie ispol'zovanija nekotorych rastitel'nykh i gribnykh metabolitov v bioteknologii antibiotičeskikh preparatov: Diss. kand. biol. nauk* [Justification of the use of certain plant and fungal metabolites in the biotechnology of antibiotic drugs: Cand. Diss.]. Oryel, 2019. 144 p. Available at: <https://diss.muotr.ru/media/dissertations/2019/05/> (reference date: 01.02.2020). (In Russ.).
- MR 2.1.7.2297-07. *Obosnovanie klassa opasnosti otchodov proizvodstva i potreblenja po fitotoksičnosti*. [Substantiation of the hazard class of production and consumption wastes by phytotoxicity.

- Methodical recommendation]. Moscow, 2007. 9 p. (In Russ.).
- Nesterova L. Yu., Tsyganov I. V., Tkachenko F. G. [The role of biogenic polyamines in the regulation of gliding in mycobacteria]. *Vestnik Permskogo universiteta. Ser. Biologija*. Iss. 3 (2017): pp. 304-310. (In Russ.).
- Pavlovskaja N. E., Solokhina I. Yu., Gneusheva I. A. [Study of triterpene saponins obtained from the roots of oats (*Avena sativa* L.)]. *Vestnik Oryel GAU*. N 2 (12) (2012): pp. 48-50. (In Russ.).
- Pigareva T. A., Abakumov E. V. [Biological parameters of soils and technogenic substrates of tailings dumps of iron ore mining enterprises]. *Teoreticheskaja i prikladnaja ekologija*. N 1 (2015): pp. 28-33. (In Russ.).
- Prikaz Ministerstva prirodnykh resursov "Ob utverzhenii metodicheskikh rekomendacij po provedeniju inventarizacii ob'ektov nakoplenno-ekologicheskogo ushcherba (ot 25.04.2012)* [Order of the Ministry of natural resources and ecology of the Russian Federation "About the approval of methodical recommendations on carrying out inventory of objects of the accumulated ecological damage. (April 25, 2012)]. Moscow, 2012. 16 p. (In Russ.).
- Rukovodstvo po ocenke otchetov OVOS gorno-rudnykh proektov* [Guidelines for evaluating EIA reports for mining projects. Russian-language edition: WWF Russia]. WWF Russia, 2011. 181 p. (In Russ.).
- Solovyanov A. A. [Past (accumulated) environmental damage: problems and solutions. I. Sources and types of pollution]. *Ekologicheskij vestnik Rossii*. N 3 (2015): pp. 46-53. (In Russ.).
- Solokhina I. Yu. *Vydelenie avenocina iz ovsy posevnoy (Avena sativa L.) i izučenie ego fiziologo-biochimicheskikh aspektov dejstviya*. Avtoref. diss. kand. biol. nauk [The allocation of Avenine from oat (*Avena sativa* L.) and to study its physiological and biochemical aspects of the action: Abstract Cand. Diss.]. Voronezh, 2013. 24 p. (In Russ.).
- Vinogradov A. P. [Average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the earth's crust]. *Geochimija*. N 7 (1962): pp. 555-571. (In Russ.).

Поступила в редакцию 06.12.2019

#### Об авторах

Артамонова Валентина Сергеевна, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории рекультивации почв Институт почвоведения и агрохимии СО РАН  
**ORCID:** 0000-0001-8606-7975  
630090, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 8/2;  
artamonova@issa.nsc.ru; (383)3639016

Бортникова Светлана Борисовна, доктор геолого-минералогических наук, профессор, зав. лабораторией  
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН  
**ORCID:** 0000-0003-2395-7406  
630090, Новосибирск, пр. Коптюга, 3;  
bortnikovasb@ipgg.sbras.ru; (383)3309536

Оплеухин Алексей Александрович, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв Институт почвоведения и агрохимии СО РАН  
**ORCID:** 0000-0002-1691-9906  
630090, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 8/2;  
opleukhin@issa.siberia.ru; (383) 3639013

#### About the authors

Artamonova Valentina Sergeevna, doctor of biology, dozent, senior researcher laboratory of recultivation soils  
Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS.  
**ORCID:** 0000-0001-8606-7975  
8/2, Lavrentjev pr., Novosibirsk, Russia, 630090;  
artamonova@issa.nsc.ru; (383)3639016

Bortnikova Svetlana Borisovna, doctor of geology, professor  
Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the RAS.  
**ORCID:** 0000-0003-2395-7406  
Russia, Novosibirsk, pr. acad. Koptug, 3, 630090;  
bortnikovasb@ipgg.sbras.ru; (383)3309536

Opleuchin Aleksej Aleksandrovich, candidate of biology, junior researcher of the laboratory of geografi and genesis soils  
Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS.  
**ORCID:** 0000-0002-1691-9906  
8/2, Lavrentjev pr., Novosibirsk, Russia, 630090;  
opleukhin@issa.siberia.ru; (383) 3639013

#### Информация для цитирования:

Артамонова В.С., Бортникова С.Б., Оплеухин А.А. Фитотоксичность лежалых отходов цианирования золотосодержащей руды на территории накопленного экологического ущерба // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2020. Вып. 1. С. 33–40. DOI: 10.17072/1994-9952-2020-1-33-40.

Artamonova V.S., Bortnikova S.B., Opleuchin A.A. [Phytotoxicity of stale cyanidation wastes of polymetallic ores in areas of accumulated environmental damage]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 1 (2020): pp. 33-40. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2020-1-33-40.



