

# Технологии фиторемедиации на техногенно-поврежденных территориях в условиях Восточной Сибири и Южного Урала

**С.С. Тимофеева**, заведующая кафедрой, профессор, д-р техн. наук<sup>1</sup>,

**С.С. Тимофеев**, старший преподаватель<sup>1</sup>,

**Д.В. Ульрих**, доцент, канд. техн. наук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Иркутский национальный исследовательский технический университет

<sup>2</sup>Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)

e-mail: timofeeva@istu.edu, samtim@mail.ru, ulrich.dm.25@mail.ru

## Ключевые слова:

фиторемедиация,  
сточные воды,  
горнопромышленный комплекс,  
тяжелые металлы,  
цианиды,  
водные растения,  
водоросли

*Приведен обзор современных технологий фиторемедиации для реабилитации техногенно-нагруженных территорий горно-промышленных комплексов. Представлены технологии фиторемедиации сточных вод золотоизвлекательных фабрик, предприятий по добыче и переработке медных руд. Даны практические рекомендации по проектированию фиторемедиационных сооружений. Осуществлен выбор водных растений и водорослей для высаживания в биоинженерные системы очистки сточных вод применительно к условиям сурового климата Восточной Сибири и Южного Урала.*

## 1. Введение в проблему

Горнопромышленный комплекс России является важнейшим базовым элементом народного хозяйства, поставщиком минерального сырья и топлива. По запасам и добыче многих видов полезных ископаемых Россия входит в число мировых лидеров, что определяет добычу и переработку руд как стратегическое направление экономики нашей страны. В настоящее время Россия входит в число пяти мировых лидеров горнорудной промышленности (наряду с Чили, Австралией, Южной Африкой и Канадой).

Ущерб, наносимый природным компонентам горно-промышленным комплексом, постепенно приводит к ощутимым последствиям, так как производственная деятельность горнодобывающих и перерабатывающих производств оказывает значительное воздействие на элементы биосферы. В атмосферу выбрасывается около 50 млн т вредных веществ, в водоемы сбрасывается более 2 млрд м<sup>3</sup> загрязнённых сточных вод, на поверхности земли складывается более 8 млрд т твёрдых отходов различных классов опасности [1, 2].

Фиторемедиация (от греческого «фитон» — растение и латинского «ремедиум» — восстанавливать) — технология очистки окружающей среды с помощью растений и ассоциированных с ними микроорганизмов. В этой технологии используются природные процессы, с помощью которых растения и ризосферные микроорганизмы деградируют и накапливают различные поллютанты. В процессе фиторемедиации используются энергия Солнца и растительная масса, поэтому данная технология значительно дешевле методов, основанных на применении техники. Фиторемедиация экологически чистая альтернатива ряду химических процессов, экономически оправданная технология, за которой будущее.

Фиторемедиация основана на использовании основных физиологических механизмов, происходящих в высших растениях и микроорганизмах, сопутствующих им, таких как транспирация, фотосинтез, метаболизм и нитрификация. Растения, произрастающие на почвах, осадках и сточных водах, могут накапливать из них неорганические и органические соединения, стабилизировать и метаболизировать

вещества, с участием как собственных ферментов, так и микроорганизмов, содержащихся в ризосфере. Извлекаемые вещества могут накапливаться, транспортироваться и аккумулироваться в различных клетках и тканях. В итоге возможно выделение веществ в воздух.

К настоящему времени интенсивно развиваются и внедряются следующие технологии фиторемедиации [5, 8, 14].

**Фитопоглощение (фитоаккумуляция)** — накопление, или иммобилизация растением загрязняющих веществ из почвы или сточных вод. Растительная клетка, представляющая собой природный биоэлектрохимический мембранный реактор, способна эффективно извлекать и утилизировать тяжелые металлы. При этом возможны различные механизмы процессов — абсорбция поллютантов корнями и накопление их в растении, адсорбция поллютантов в прикорневой зоне — ризосфере и (или) их осаждение там.

**Фитодеградация** — «внутреннее» разрушение органических веществ растением после поглощения, разложение их в ходе метаболических процессов либо «внешнее», когда органические вещества разлагаются под действием корневых выделений.

**Фитоиспарение** — способность растения поглощать вещества и выводить в атмосферу в процессе транспирации, т. е. вместе с водой «выкачивать» из почвы загрязняющее вещество.

**Ризодеградация** (ризосферно усиленная биодеградация или растительно усиленная биодеградация) осуществляется не самим растением, а микроорганизмами, обитающими в непосредственной близости к его корням, т. е. в ризосфере. Роль растения заключается в значительном усилении эффективности работы микроорганизмов за счет биологически активных корневых выделений.

Каждая технология имеет свои преимущества, недостатки и области применения.

**Цель настоящей работы** — обобщить накопленные сведения об использовании фиторемедиации для обезвреживания техногенно-нагруженных территорий горнодобывающих и перерабатывающих комплексов, а также представить результаты опробования и внедрения данных технологий в условиях Восточной Сибири и Южного Урала, выполненные авторами.

Рассмотрим технологии фиторемедиации, наиболее перспективные для использования на территориях горнодобывающих и перерабатывающих комплексов.

## 2. Наземные растения

Древесные виды растений могут использоваться в фиторемедиации в качестве барьера для воды, чтобы создать восходящий ток воды в корневую зону, препятствуя утечке загрязнения вглубь, и предотвратить горизонтальное распространение загрязнённых грунтовых вод. Для этого применяются виды с хорошо развитой корневой системой и высоким уровнем транспирации (например, тополь).

Выполнены полевые исследования по оценке аккумуляции тяжелых металлов растениями, выращенными естественно или культивированными на металлоносных хвостах цинковых и свинцовых рудников. При средней концентрации Pb, Zn и Cd в почвах 4431, 4920 и 37 мг/кг, соответственно, концентрация в образцах растений достигала: в стеблях Лоха узколистного (*Eleagnus angustifolia*) — 428,1, 1372,5 и 8,5 мг/кг; в спорыше обыкновенном (*Polygonum arenastum*) в стеблях составляла 136,2, 1590,5, 5,6 мг/кг, в корнях — 271,8, 890,0, 2,9 мг/кг соответственно. Растительность препятствует распространению тяжелых металлов за счет ветровой эрозии, выноса ливневыми водами и инфильтрации. Выращенные растения могут быть переработаны обычными методами или размещены в малых объемах.

Широкое распространение получает технология **фитоэкстракции**, основанная на способности травянистых растений экстрагировать из почв загрязнители и аккумулировать их в тканях, после чего наземная растительная биомасса собирается. Растительный материал может далее либо использоваться для непищевых целей (производство дерева, картона), либо сжигаться с последующим вывозом золы на свалку или, в случае ценных металлов, рециркуляцией накопленных элементов. Данная технология главным образом используется для очистки от неорганических поллютантов (металлы, селен, мышьяк, радионуклиды).

Для фитоэкстракции часто применяют горчицу *Brassica juncea* и подсолнечник *Helianthus annuus* из-за их быстрого роста, большой биомассы и высокой устойчивости к неорганическим поллютантам. Обнаружен ряд растений — гипераккумуляторов, способных накапливать один или несколько элементов (некоторые металлы, As, Se) до уровня в два порядка выше, чем другие виды (до 0,1–1 % сухой биомассы). Так, растение, гипераккумулирующее никель, *Alyssum bertolonii* (Бурячок Бертолонии) исследовано в полевых условиях.

**Технология фитостимуляции** состоит в применении растений для стимуляции биодеградации пол-

лютантов микробами в ризосфере. Такая стимуляция биodeградации осуществляется за счёт секреции растениями органических веществ, используемых ризосферными микроорганизмами в качестве источника энергии и углерода, а также различных вторичных метаболитов, активирующих гены, ответственные за синтез дeградирующих ферментов.

Для фитостимуляции микробов-деструкторов корневой зоны применяются растения, обладающие обширной плотной корневой системой и секреторные специфические вещества, способствующие росту микробов. В частности, используются различные травы (например, овсяница *Festuca sp.*, плевел *Lolium sp.*) из-за их обширной и плотной корневой системы и шелковица (тутовое дерево) из-за секреции фенольных соединений — индукторов генов микроорганизмов, вовлечённых в разрушение циклических углеводов. Фитостимуляция применяется для очистки от гидрофобных органических загрязнителей (углеводороды нефтепродуктов), которые не могут быть поглощены растениями, но могут быть дeградированы микробами.

Растения могут напрямую дeградировать органические загрязнители с помощью своих ферментов, обычно внутри тканей, до неорганических соединений, накапливающихся в растении. Технология использования растений для дeградации фитодeградации эффективна в отношении органических загрязнителей, обладающих хорошей подвижностью в растении (гербициды, ТНТ, трихлорэтилен).

Нами проводились исследования по изучению способности травянистых растений накапливать тяжёлые металлы. В частности, предложено использовать сорбционно-растительный модуль, состоящий из смеси глауконита и подсушенной зелёной массы злаковых растений с соотношением 30 и 70 % соответственно. Установлено, что для извлечения металлов с загрязнённой территории модули необходимо укладывать в борозды на глубину до 40 см изначально в районах с максимальной концентрацией металлов в почве с последующим высевом многолетних злаковых растений.

### 3. Водные растения

В настоящее время водные растения, которые принято делить на две большие группы (гидрофиты — погруженные и плавающие на поверхности, гелофиты-водно-болотные) нашли широкое применение в очистке сточных вод. Растения выполняют роль механического фильтра. Очистительная способность такого фильтрующего барьера зависит от густоты растений, наличия и степени развитости корней, формы и размеров листьев и общей поверх-

ности растений. Водные растения снижают скорость течения воды в зоне их зарослей, что приводит к оседанию взвешенных частиц. Кроме того, растения могут выделять на своей поверхности слизь, которая способствует оседанию взвеси, а также образуют большую поверхность для развития перифитона. Водные растения выполняют детоксикационную роль, поглощают и накапливают тяжёлые металлы, метаболизируют органические загрязнители.

В настоящее время технологии фиторемедиации с использованием водных растений развиваются и совершенствуются по следующим направлениям:

- использование ветландов (водно-болотных угодий) для очистки загрязнённых вод и выяснение роли различных видов водных растений в этих процессах;
- создание и проектирование биоинженерных сооружений для селективного удаления загрязняющих веществ;
- использование растений в качестве фитосорбентов и деструкторов органических загрязнителей [4–13].

Для фиторемедиации в искусственно созданных заболоченных территориях применяются различные водные виды: ряска (*Lemna sp.* и *Azolla sp.*) для неорганических поллютантов (хорошие накопители металлов и лёгкий сбор биомассы), виды родов *Myriophyllum* (перистолистник) и *Elodea* (элодея) для органических поллютантов (высокий уровень дeградирующих ферментов) [10]. Искусственно созданные заболоченные территории применяются для очистки от широкого круга неорганических (металлы, цианиды, нитраты, фосфаты) и некоторых органических (гербициды, взрывчатые вещества) загрязнителей.

Авторами настоящей работы в течение многих лет проводились исследования по разработке технологий очистки сточных вод горно-обогатительных производств с использованием водных растений [11–13]. Как известно, сточные воды горно-обогатительных производств являются сложными поликомпонентными системами и существенно различаются между собой по химическому составу вследствие различий в вещественном составе перерабатываемых руд, схемах и реагентных режимах их переработки, изменения состава загрязняющих примесей в условиях сложных физико-химических процессов [15, 16]. Эти воды можно разделить на 4 группы:

- 1) содержащие свободные цианиды, роданиды и др. (сливы сгустителей свинцовых и медных концентратов, сливы хвостохранилищ обогатительных фабрик, перерабатывающих золотосодержащие, медные и полиметаллические руды);

- 2) содержащие катионы тяжелых и редких металлов (сливы сгустителей, отстойников и хвостохранилищ обогатительных фабрик и заводов по производству цветных и редких металлов);
- 3) содержащие органические примеси, твердые взвеси, стоки повышенной кислотности (шахтные воды, сливы хвостохранилищ гравитационных фабрик, промывных снарядов);
- 4) содержащие растворимые соединения.

Авторами настоящей работы в условиях Восточной Сибири, Узбекистана и Южного Урала раз-

работаны и опробованы технологии фиторемедиации сточных вод золотоизвлекательных фабрик, предприятий по добыче и переработке медных руд, на примере Карабашского промузла.

#### 4. Результаты исследования

Нами изучены механизмы и закономерности биодеградации сточных вод, содержащих свободные цианиды и меркаптосоединения в условиях сурового климата Восточной Сибири и на территории Узбекистана с мягким климатом. В табл. 1 приведены

Таблица 1

**Константы скорости фитодеградации цианидов и меркаптосоединений водорослями и высшими водными растениями, присутствующих в сточных водах ЗИФ, сут<sup>-1</sup>**

Место произрастания	Водоросль или высшее водное растение	Цианиды	Метил-меркаптан	Роданиды	Бутиловый тиофосфат	Бутиловый ксантогенат	
Россия. Восточная Сибирь, оз. Байкал, р. Ангара, р. Нижняя Тунгуска	Stratonostoc verrucosum (Vauch)Elenk	3,0	2,5	2,6	2,2	0,9	
	Cladocera kusnetzowii C. Mayer	1,3	1,3	0,9	0,7	0,5	
	Chaetomorpha baicalensis C. Mayer	2,3	1,8	0,8	1,1	0,7	
	Nitella sp.	1,5	8,1	2,6	3,1	1,6	
	Chara fragilis Desv.	1,6	5,5	3,4	2,8	1,2	
	Fontinalis antipyretica L.ex hedw	5,1	5,6	5,6	2,0	2,1	
	Sparganium gramineum Georgi	2,7	2,2	2,7	1,2	1,4	
	Potamogeton compressus L. – P. zosterifolius	2,2	2,4	1,3	1,4	1,4	
	Potamogeton perfoliatus L.	2,6	2,4	1,3	1,5	0,9	
	Potamogeton praelongus Wulf.	3,2	2,4	1,9	1,3	0,9	
	Elodea canadensis Michx.	4,5	5,6	2,9	2,4	2,8	
	Lemna trisulca L.	5,8	3,2	3,8	1,4	1,4	
	Polygonum amphibium f. aquatius Leyss	2,7	2,7	3,6	1,5	1,3	
	Ceratophyllum demersum L.	2,2	1,2	1,4	1,1	0,9	
	Myriophyllum spicatum L.	2,1	2,5	1,6	1,3	0,6	
	Узбекистан. Мелкие озера вблизи г. Ташкент и Ангрэн	Nitella hyaline (Dc) Ag	3,2	4,2	2,5	1,3	1,9
		Chara vulgaris L., C. gymnopitus A. Br.	3,1	3,4	2,6	2,8	2,5
Sparganium erectum L.		4,2	3,6	2,7	3,0	2,1	
Thypha angustifolia L.		5,1	3,6	4,2	3,5	3,7	
Potamogeton filiformis L.		3,4	3,2	2,8	2,5	2,0	
Potamogeton perfoliatus L.		3,5	3,1	2,5	2,1	1,9	
Potamogeton gramineus		4,2	4,1	2,9	3,1	2,4	
Najas marina L.		4,8	4,1	3,3	3,4	2,5	
Butomus umbellatus L.		4,5	4,3	2,8	3,0	2,9	
Phragmites communis Trin.		5,6	5,8	4,5	3,9	3,8	
Oryza sativa L.		5,9	5,4	4,9	2,9	3,8	
Acorus calamus L.		6,9	5,6	4,5	3,1	2,8	
Pistia stratiotes L.		6,8	5,9	5,4	4,9	4,2	
Lemna gibba L.		3,7	3,5	3,2	2,9	2,1	
Lemna minor L.		3,4	3,2	2,9	2,5	2,4	
Ceratophyllum demersum L.	4,6	3,8	3,5	2,1	3,1		
Salvinia natans L. All.	4,6	4,5	4,1	3,1	2,9		
Eichornia crassipes L.	6,9	6,8	6,5	5,1	5,5		
Без растений, вода р. Ангара		0,052	0,085	0,027	0,095	0,036	

кинетические параметры биодegradации цианидов и меркаптосоединений, содержащихся в сточных водах золотоизвлекательных фабрик (ЗИФ), водными растениями.

Как видно из приведенных данных, исследованные водные растения и водоросли эффективно разрушают токсиканты и могут быть использованы для создания технологий фиторемедиации.

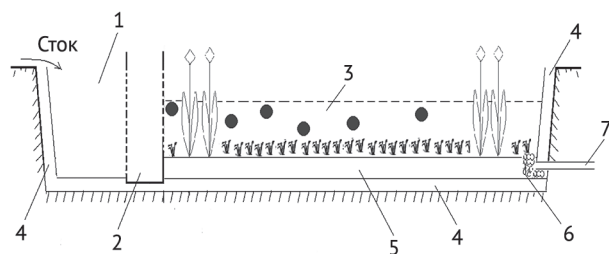
Для ЗИФ мы рекомендуем технологию фиторемедиации, включающую пропускание сточных вод через три ступени искусственно созданного биоинженерного сооружения — биоплато, засаживаемого в следующем порядке:

- 1-я ступень — харовые водоросли с плотностью покрытия 2,5 кг/м<sup>2</sup>,
- 2-я ступень — элодея канадская с плотностью 1,5 кг/м<sup>2</sup>;
- 3-я ступень — рдесты и рогозы 30–40 экз./м<sup>2</sup>.

Схема реализована и опробована на Ангренской ЗИФ и Текелийском свинцово-цинковом комбинате.

Применительно к условиям Южного Урала нами предложена и запатентована система очистки сточных вод, образующихся при эксплуатации медных месторождений полезных ископаемых, на примере Карабашского промышленного узла, включающего добычу, обогащение и получение товарной меди. Здесь образуются стоки, содержащие катионы тяжелых и редких металлов, а также кислые стоки [17].

На рисунке приведена система очистки сточных вод. Система содержит последовательно расположенные от стока фильтрационную секцию 1, заполненную известняком с коэффициентом водонепроницаемости  $K_f=10-20$  м/сут.; фильтрационный модуль 2, заполненный материалом на основе дунитов, заключенный в сетчатые коробчатые контейнеры; биопруд 3 с растениями-макрофитами в виде комплекса гидатофитов, гидрофитов и гелофитов. Дно и стенки биопруда 3 и фильтрационной секции 1 выполнены из экранирующего слоя суглинков 4. На дне пруда над слоем суглинков 4 расположен слой из осадков природных вод 5 в качестве субстрата для растений.



Система фиторемедиации кислых поверхностных сточных вод от тяжелых металлов

Глубина пруда не менее 1,5–2 м. У противоположной от стока стенки биопруда 3 выполнены дренаж 6 и водоотвод 7.

В биопруд рекомендуется высаживать следующие виды водных растений: *Potamogeton natans* L., *Nuphar luteum* (L.), *Potamogeton lucens* L., *Potamogeton perfoliatus* L., *Potamogeton htctinatus* L., *Myriophyllum spicatum* L., *Ceratophyllum demersum* L., *Cladophora glomerata*, *Acorus calamus*, *Typha angustifolia*, *Comarum palustre*, *Nitella flexilis*. В табл. 2 приведены данные по очистке сточных вод в предложенной системе очистки сточных вод.

## 5. Выводы и рекомендации по результатам исследований и опыта применения

На основе накопленного опыта при проектировании комплекса сооружений с применением технологии фиторемедиации можно рекомендовать следующий алгоритм действий.

1. Выбор оптимальных параметров процессов деструкции органических веществ за счет жизнедеятельности биоты и иммобилизации регенерированных минеральных соединений. Эти исследования выполняются в условиях лабораторного эксперимента (микркосм).
2. Выбор места расположения очистных сооружений, включая сооружения механической очистки, чтобы очищаемая вода перетекала из одного блока в другой самотеком, а комплекс сооружений биопрудов вписывался в рельеф местности как его составная часть.
3. Выбор системы водоотвода при отключении блоков (секций) биопрудов на период проведения ремонтных работ и аварийных ситуаций. Следует предусмотреть устройства для прекращения подачи сточных вод на любое сооружение, работающее во взаимозаменяемом режиме.

Таблица 2

Эффективность очистки сточных вод в сооружении фиторемедиации в условиях Южного Урала

Тяжелый металл, ионы	pH до очистки / после очистки	Исходная концентрация металла, мг/л	Эффективность очистки, % через 10 суток
Железо, двухвалентное	2,9/5,9	80,6	94,7
Медь	2,9/5,9	5,7	98,9
Цинк	2,9/5,9	24,5	81,2
Свинец	2,9/5,9	1,2	98,3
Кадмий	2,9/5,9	3,2	98,7
Алюминий	2,9/5,9	27,5	85,1
Мышьяк	2,9/5,9	0,03	100



4. Строительство сооружений с использованием технологии фиторемедиации желательнее осуществлять в течение нескольких месяцев и закончить строительные работы в теплый период, чтобы успеть к началу холодов осуществить посадку высшей водной растительности на блоках биопрудов. Обычно плотность растительности должна достигать 10–12 стеблей на 1 м<sup>2</sup> поверхности блока. При недостаточной плотности весной или летом следующего года осуществляется дополнительная посадка.
5. Растительность, которая развивается на поверхности блоков биопрудов, не следует косить или сжигать. Отмирающие стебли и листва растений образуют торфяной слой (детрит), толщиной около 1 мм в год, где формируется биоценоз, который дополнительно поглощает соединения азота и фосфора, а главное — обеспечивает надежное обеззараживание сточных вод.
6. Адаптация биогеоценоза биопрудов к условиям нормальной эксплуатации происходит при подаче воды с дебитом 0,1–0,25 расчетной нагрузки. Этот процесс длится до тех пор, пока в очищаемой воде на выходе из биопрудов не будет установлено снижение содержания загрязняющих веществ, которое свидетельствует о начале работы искусственного биогеоценоза. Это наступает ориентировочно через 2–4 месяца после начала опытной эксплуатации.
7. Для обеспечения эффективной эксплуатации биопрудов при отрицательных температурах необходимо выполнять ряд требований. В зимний период следует максимально сохранять температуру сточных вод как в самом биопруде, так и в сооружениях и коммуникациях перед входом в биопруд (в отстойнике, колодцах и подводящих трубах). Растительная подстилка и грунтовой субстрат, накапливающиеся в биопрудах, обеспечивают теплоизоляцию в холодный период года. Эта подстилка также аккумулирует снег, ограничивая конвекцию и снижая потери тепла. Для эффективной работы биопрудов в зимний период необходимо поддерживать постоянный ток воды через сооружения. Глубина воды в блоках должна быть не менее 40–60 см. При этом в верхней части водной зоны инфильтрационных блоков образуется слой льда в виде крыши толщиной 5–10 см. Подо льдом поддерживается температура воды не менее +5 °С, достаточная для прохождения процессов очистки. Как показал опыт эксплуатации

сооружений биопрудов, эффективная очистка и бесперебойная работа в зимний период обеспечиваются даже при температурах ниже –30 °С, при этом вода на выходе из биопрудов имеет температуру не ниже +3 °С.

Сооружения на основе технологий фиторемедиации работают как самонастраивающаяся и саморегулируемая система. Для их надежной работы необходимо поддерживать оптимальный режим эксплуатации, соблюдая сравнительно простые правила:

- подача воды на сооружения должна быть постоянной, перерывы не должны превышать 1–2 суток;
- следует регулярно удалять из блока механической очистки осажденные и плавающие примеси;
- своевременно заменять проржавевшие металлические детали блока механической очистки (решетки, шиберы и др.) и регулирующей аппаратуры (задвижки, патрубки и др.), устранять оседание колодцев и трубопроводов;
- при отрицательных температурах обеспечивать условия прохождения очистки под ледяной крышей;
- при необходимости производить дополнительную посадку высшей водной растительности на поверхности блоков биопрудов;
- через 5–7 лет эксплуатации при необходимости производить замену или разрыхление поверхностного слоя фильтрующего материала инфильтрационных блоков на глубину 5–10 см;
- при необходимости делать обратную промывку дренажных трубопроводов.

Сооружения биопрудов вместе с сооружениями механической очистки обслуживает один человек. Срок службы фильтрационных блоков между капитальными ремонтами составляет не менее 20–25 лет. Поверхностные блоки в ремонте не нуждаются.

Кроме функций биоинженерного сооружения, биопруды как высокопроизводительная экосистема создают пространственную неоднородность в обедненных антропогенно-естественных ландшафтах, предоставляют дополнительные места обитания и пищевые ресурсы для многих видов флоры и фауны, что, в свою очередь, создает благоприятные условия для поддержания биоразнообразия. Применение принципов ландшафтного дизайна при проектировании и строительстве биопрудов позволяет широко использовать декоративные возможности сооружений для улучшения эстетики промышленных площадок и прилегающих территорий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воздействие горного производства на окружающую среду [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.ref.by/refs/97/22423/1.html>
2. Соколов, И.В. Комплекс характеристик экологической безопасности при добыче полезных ископаемых [Электронный ресурс] / И.В. Соколов — Режим доступа: <http://www.sworld.com.ua/konfer27/676.p>
3. Магмедов В.Г. Основные типы водоохраных сооружений, использующие очистные свойства сообществ макрофитов // Водные ресурсы. 1988. № 2. С. 150–155.
4. Стоянов А.В., Собгайда Н.А., Ольшанская Л.Н. Влияние лазерного излучения на процессы фиторемедиации меди из сточных вод эйхорнией // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2010. № 6. С. 38–41.
5. Dipu S., Anju A., Kumar V and Thanga Salom Gnana., Phytoremediation of Dairy Effluent by Constructed Wetland Technology Using Wetland Macrophytes // The Environmentalist. 2011. Vol. 31(3). С. 263–278.
6. Abdel-sabour M.F. Recycling and Environment consultant, Water hyacinth: available and renewable resource // Journal Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry. 2010. Vol. 9 (11). P. 1746–1759.
7. Timofeeva S.S., et al. Treatment of sewage containing aromatic amines with participation of macrophytes // Acta hydrochim. hydrobiol. Part.1. 1987. Bd.15. Hf.6. P. 611–622; Part.2.1988. Bd.16. Hf.1. P.73–80.
8. Тимофеева С.С., Тимофеев С.С. Системы с высшей водной растительностью для очистки сточных вод // Вода magazine. 2011. № 10 (50) октябрь. С. 56–60.
9. Akpor O.B., Muchie M. (2010). Remediation of heavy metals in drinking water and wastewater treatment systems: Processes and applications // International Journal of the Physical Sciences, 5(12):1807–1817.
10. Azeez, N., M. and A.A. Sabbar. Efficiency of duckweed (*Lemna minor* L.) in phytotreatment of wastewater pollutions from basrah oil refinery // Journal of Applied Phytotechnology in Environmental Sanitation. 2012. 1(4): 163–172
11. Тимофеева С.С., Краева В.З., Меньшикова О.А. Роль водорослей и высших водных растений в обезвреживании цианидсодержащих сточных вод // Водные ресурсы. 1985. № 6. С. 111–116.
12. Тимофеева С.С., Меньшикова О.А. Использование макрофитов для интенсификации биологической очистки роданидсодержащих сточных вод // Водные ресурсы. 1985. № 6. С. 80–85.
13. Тимофеева С.С., Русецкая Г.Д. Роль макрофитов в обезвреживании флотореагентов // Водные ресурсы. 1989. № 4. С. 187–194.
14. Ранжированный перечень наилучших доступных технологий по очистке загрязненных территорий и ликвидации накопленного экологического ущерба. [Электронный ресурс] Режим доступа <http://www.zubstom.ru/docs/index-12701.html>. Дата обращения 25.02.1016
15. Разработка технологических решений по минимизации техногенного воздействия на окружающую среду предприятий по добыче и переработке рудного золота отчет о НИР/ Батоева А.А. Улан-Уде: Байкальский институт природопользования Сибирского отделения РАН, 2014. — 99 с.
16. Ласкорин Б.Н. Безотходная технология переработки минерального сырья / Б.Н. Ласкорин, Л.А. Барский, В.З. Персиц. М.: Недра, 1984. — 334 с.
17. Патент № 2572577. Система очистки сточных вод (варианты) Ульрих Д.В., Брюхов М.Н., Тимофеева С.С., Денисов С.Е.

## REFERENCES

1. *Vozdeistvie gornogo proizvodstva na okruzhayushchuyu sredu* [Impact of mining on the environment]. Available at: <http://www.ref.by/refs/97/22423/1.html> (accessed 11 January 2017) (in Russian).
2. Sokolov I.V. *Kompleks kharakteristik ekologicheskoi bezopasnosti pri dobyche poleznykh iskopaemykh* [Complex of characteristics of ecological safety when mining]. Available at: <http://www.sworld.com.ua/konfer27/676.p> (accessed 11. January 2017) (in Russian).
3. Magmedov V.G. *Osnovnye tipy vodoohrannykh sooruzhenii, ispol'zuyushchie ochestnye svoystva soobshchestv makrofitov* [The main types of the water preserving constructions using clearing properties of communities of makrofit]. *Vodnye resursy* [Water resources]. 1988, I. 2, pp. 150–155 (in Russian).
4. Stoyanov A.V., Sobgaida N.A., Ol'shanskaya L.N. *Vliyanie lazernogo izlucheniya na protsessy fitoremedia-tsiimedi iz stochnykh vod eikhorniei* [Influence of laser radiation on processes of a fitoremediation of copper of sewage eykhorniya]. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie* [Chemical and oil and gas mechanical engineering]. 2010, I. 6, pp. 38–41 (in Russian).
5. Dipu S., Anju A., Kumar V. and Thanga Salom Gnana. Phytoremediation of Dairy Effluent by Constructed Wetland Technology Using Wetland Macrophytes. *The Environmentalist*, 2011, vol. 3, no. 31, pp. 263–278.
6. Abdel-sabour M.F. Recycling and Environment consultant, Water hyacinth: available and renewable resource. *Agricultural and Food Chemistry*, 2010, vol. 11, no. 9, pp. 1746–1759.
7. Timofeeva S.S., et al. Treatment of sewage containing aromatic amines with participation of macrophytes. *Acta hydrochim. hydrobiol.* Part 1. 1987. Bd. 15. Hf. 6. Pp. 611–622; Part 2. 1988. Bd. 16. Hf. 1. Pp. 73–80.
8. Timofeeva S.S., Timofeev S.S. *Sistemy s vysshei vodnoi rastitel'nost'yu dlya ochestki stochnykh vod* [Systems with the highest water vegetation for sewage treatment]. *Voda magazine* [Water Magazine]. 2011, I. 10 (50), pp. 56–60 (in Russian).
9. Akpor O.B., Muchie M. Remediation of heavy metals in drinking water and wastewater treatment systems: Processes and applications. *International Journal of the Physical Sciences*, 2010, vol. 12, no. 5, pp. 1807–1817.
10. Azeez N., Sabbar A.A. Efficiency of duckweed (*Lemna minor* L.) in phytotreatment of wastewater pollutions from

- basrah oil refinery. Journal of Applied Phytotechnology in Environmental Sanitation, 2012, vol. 4, no. 1, pp. 163–172.
11. Timofeeva S.S., Kraeva V.Z., Men'shikova O.A. Rol' vodoroslei i vysshikh vodnykh rastenii v obezvrezhivanii tsianidsoderzhashchikh stochnykh vod [Role of seaweed and the higher water plants in neutralization the tsianidsoderzhashchikh of sewage]. *Vodnye resursy* [Water resources]. 1985, I. 6, pp. 111–116 (in Russian).
  12. Timofeeva S.S., Men'shikova O.A. Ispol'zovanie makrofitov dlya intensivatsii biologicheskoi ochestki rodanidsoderzhashchikh stochnykh vod [Use of makrofit for an intensification of biological cleaning the rodanidsoderzhashchikh of sewage]. *Vodnye resursy* [Water resources]. 1985, I. 6, pp. 80–85 (in Russian).
  13. Timofeeva S.S., Rusetskaya G.D. Rol' makrofitov v obezvrezhivanii flotoreagentov [Role of makrofit in neutralization of flotoreagent]. *Vodnye resursy* [Water resources]. 1989, I. 4, pp. 187–194 (in Russian).
  14. Ranzhirovannyi perechen' nailuchshikh dostupnykh tekhnologii po ochestke zagryaznennykh territorii i likvidatsii nakoplennogo ekologicheskogo ushcherba [The ranged list of the best available technologies for cleaning of the polluted territories and elimination of the saved-up ecological damage]. Available at: <http://www.zubstom.ru/docs/index-12701.html> (accessed 25. February 2016) (in Russian).
  15. Batoeva A.A. *Razrabotka tekhnologicheskikh reshenii po minimizatsii tekhnogenno vozdeistviya na okruzhayushchuyu sredu predpriyatii po dobyche i pererabotke rudnogo zolota* [Development of technology solutions on minimization of technogenic impact on the environment of the enterprises for production and processing of ore gold]. Ulan-Ude, Baikal'skii institut prirodopol'zovaniya Sibirskogo otdeleniya RAN Publ., 2014. 99 p (in Russian).
  16. Laskorin B.N., Barskii L.A., Persits V.Z. *Bezotkhodnaya tekhnologiya pererabotki mineral'nogo syr'ya* [Waste-free technology of processing of mineral raw materials]. Moscow, Nedra Publ., 1984, 334 p (in Russian).
  17. Ul'rikh D.V., Bryukhov M.N., Timofeeva S.S., Denisov S.E. System of sewage treatment (options). Patent of the Russian Federation no. 2572577. (In Russian).. (in Russian)

## Phytoremediation Technologies Application in Industrially Polluted Territories in Environments of East Siberia and South Ural

**S.S. Timofeeva**, Doctor of Engineering, Professor, Head of Chair, Irkutsk National Research Technical University

**S.S. Timofeev**, Senior Lecturer, Irkutsk National Research Technical University

**D.V. Ulrikh**, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, South Ural State University

*A review of modern phytoremediation technologies for rehabilitation of mining industry complexes' industrially loaded territories has been reported. The wastewater phytoremediation technologies for gold producing mills, enterprises for copper ores extraction and processing have been presented. Practical recommendations on phytoremediation facilities design have been given. The selection of water plants and algae for planting in bioengineering systems of wastewater treatment, suitable for application in severe climate conditions of East Siberia and South Ural has been performed.*

**Keywords:** phytoremediation, wastewater, mining industry complex, heavy metals, cyanides, water plants, algae.

### Ведущим вузам России сократили финансирование на ближайшие три года

Финансирование ведущих университетов России в 2017–2019 гг. будет сокращено на 12 млрд руб. Соответствующее постановление правительства подписано премьером Дмитрием Медведевым. В предыдущем постановлении от 16 марта 2013 г. говорится, что в 2017 г. и в последующие три года на поддержку вузов должно выделяться 14,5 млрд руб. Дотации на 2017 г. сокращены до 10,6 млрд руб., на 2018 г. — до 10,2 млрд руб., на 2019 г. — до 10 млрд руб. По объемам дотаций на 2020 г. пока изменений нет. Эти сокращения касаются вузов из программы «5–100». Минобрнауки запустило в 2013 г. проект «5–100» по продвижению лучших отечественных вузов в сотню лучших университетов мира к 2020 году. В программе участвует 21 российский вуз, в том числе Высшая школа экономики, Российский университет дружбы народов, Московский физико-технический институт и др. Получающие субсидии учебные заведения должны ежегодно отчитываться о выполнении своих программ повышения конкурентоспособности перед Минобрнауки России. Ранее стало известно, что правительство сократит траты по программе развития научно-технологического комплекса на 25 млрд руб. относительно цифр, заложенных на этот период в федеральной целевой программе развития научно-технологического комплекса до 2020 г.