

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Баенгуева Бориса Александровича

«Эколого-геохимическое состояние почвенно-растительной системы техногенной зоны мышьякового завода г. Свирска после его ликвидации»,

представленную на соискание степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.21 – Геоэкология

Актуальность. Проблема экологической безопасности при длительном хранении горнопромышленных отходов в настоящее время приобрела наибольшую актуальность. При добыче и переработке мышьяксодержащих руд и концентратов цветных и благородных металлов мышьяк выводится из технологического процесса в отходы, которые складывают в виде пульпы и осадков в отстойниках, хвостохранилищах или же в виде твердых шламов в специально оборудованных отвалах. Такой вывод мышьяка из технологического процесса приводит к нарушению его природного равновесного баланса. В результате чего происходит заражение мышьяксодержащими соединениями регионов размещения этих опасных объектов. В таких отвалах под воздействием различных факторов происходят процессы гипергенеза с образованием новых фаз и опасных соединений мышьяка и тяжелых металлов. В связи с чем, исследования, проведенные автором, весьма актуальны, так как позволяют оценить экологическую опасность техногенного объекта на окружающую природную среду, а также рассмотреть возможные способы биоремедиации для таких территорий.

Цели и задачи исследования.

Цель исследования: изучение современного эколого-геохимического состояния почвенно-растительной системы на территории Ангарского металлургического завода (АМЗ) после его ликвидации и особенности влияния ризосферных бактерий *Azotobacter* и *Bacillus* на биогеохимические процессы As и тяжелых металлов в системе «почва – растение». В связи с этим решались следующие задачи:

1. Изучить пространственное распределение основных халькофильных элементов в почве и сопряженных растениях и их формы нахождения в техногенно трансформированных почвах.
2. Изучить особенности накопления химических элементов в различных органах травянистого растения пырей ползучего (*Elytrigia repens*) и влияние формы соединений потенциально токсичных элементов в почве на интенсивность их накопления в растениях.

Определить основные закономерности межэлементного взаимодействия потенциально токсичных и биогенных химических элементов в растениях.

3. Установить особенности миграции химических элементов в системе «почва – растение» под влиянием ризосферных бактерий *Azotobacter* и *Bacillus* на основе выделения постадийных и хелатных вытяжек из почв. Рассмотреть способность ризосферных бактерий влиять на иммобилизацию потенциально токсичных элементов (As, Pb, Cd, Zn, Cu) в техногенных почвах.

Научная новизна. Впервые на территории г. Свирска после ликвидации мышьякового завода были получены данные по содержанию микро- и макроэлементов в техногенно трансформированных почвах и растениях, а также формы нахождения загрязняющих элементов в исследуемых почвах.

Показана способность пырея ползучего аккумулировать элементы-токсиканты в различных органах растения в условиях техногенного загрязнения.

Выявлен антагонизм между потенциально токсичными элементами и основными элементами питания (К и Р) в изученных растениях.

Получены данные, связанные с влиянием ризосферных бактерий *Azotobacter* и *Bacillus*, на мобилизацию и иммобилизацию элементов-токсикантов и биофильных элементов в системе «почва-растение».

Практическая значимость. Полученные результаты послужат научной основой для планирования эффективных мер по рекультивации и мониторинговых работ на территории бывшего мышьякового завода г. Свирска. Пырей ползучий предложен в качестве фитостабилизатора в условиях повышенного загрязнения почв мышьяком и тяжелыми металлами. Антагонистические отношения между потенциально токсичными и эссенциальными элементами могут использоваться как критерий степени фитотоксичности в зонах техногенного загрязнения. Результаты использования ризосферных бактерий могут быть полезны для новых биотехнологий, используемых для фиторемедиации, рекультивации почв и выращивании растений.

Структура и объем работы. Диссертационная работа Баенгуева Б.А. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений, списка литературных источников и приложений. Объем работы составляет 148 страниц текста, включая 35 таблиц и 41 рисунок. Список литературы насчитывает 281 наименование. Результаты исследования изложены в полном объеме.

Содержание работы. Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** рассмотрена проблема загрязнения почв мышьяком и тяжелыми металлами и основные источники их поступления. Рассмотрены история изучения форм нахождения соединений тяжелых металлов, а также методов их изучения путем постадийной экстракции. Описаны основные методы рекультивации загрязненных почв.

Во **второй главе** описан объект исследования, дано краткое описание физико-географических условий, представлена методология проводимых автором исследований. Достоверность полученных результатов обеспечивается участием в межлабораторных сличительных испытаниях.

Третья глава посвящена изучению химического, микро- и макроэлементного состава почв, а также форм нахождения основных элементов-загрязнителей данной территории. Автором условно выделены 3 участка, отличающиеся по техногенной нагрузке. Показано, что основной зоной загрязнения почв As, Pb, Cd, Cu, Zn, Hg является участок 1 – зона бывших мышьяковых отвалов. По результатам кластерного анализа были выделены 2 геохимические ассоциации элементов: халькофильные – основные загрязнители данной территории, сидерофильные – сопутствующие элементы, представляющие меньшую опасность. По результатам расчета суммарного показателя загрязнения исследуемых почв сделан вывод, что уровень загрязнения участка 1 по оценочной шкале можно отнести к чрезвычайно высокому.

На основе данного материала обосновано первое защищаемое положение.

Основными потенциально опасными загрязнителями промплощадки АМЗ являются халькофильные элементы сульфидных руд As, Pb, Zn, Cd, Cu, Hg. Выделены три участка, отличающиеся по степени загрязнения почв элементами токсикантами и различными по подвижности формами их соединений. Глинистые горизонты почв на глубине и изменение параметров рН создают для них геохимический барьер.

Четвертая глава посвящена изучению распределения As, Pb, Cu, Zn, Hg в различных частях травянистого растения – пырея ползучего (*Elytrigia repens*). Были рассчитаны коэффициенты биологического накопления и транслокационные индексы. Повышенные значения для данных показателей отмечены на участке 2 – территории бывших строений завода, где проведены рекультивационные мероприятия. Автор связывает это с относительно невысокими содержаниями химических элементов и более подвижными их формами в почве по сравнению с другими участками.

На основе кластерного анализа изучены взаимодействия между биотическими и потенциально токсичными элементами в корнях и надземной части растений. Показано, что в корнях происходит, в основном, пассивное поглощение халькофильной группы элементов загрязненных почв. В надземной части растений мышьяк и тяжелые металлы

выделены в одну группу с Si и Na, что может свидетельствовать о связывании данной группы элементов клеточной стенкой растений. Множественная корреляция показала положительную связь мышьяка и тяжелых металлов с Na и Si и отрицательную с основными элементами питания P и K в надземной части растений.

На основе представленного материала соискателем сформулировано второе защищаемое положение.

*Установлена способность растений пырея *Elytrigia repens* аккумулировать As и тяжелые металлы в зависимости от степени накопления химических элементов в почве, форм их нахождения и органов растения. Выявлен антагонизм между элементами-токсикантами и биогенными макроэлементами при токсическом стрессе.*

В **пятой главе** показаны результаты экспериментов по выращиванию культурных растений (овес, пшеница, редис, салат) при инокуляции ризосферными бактериями *Azotobacter* и *Bacillus*. В результате экспериментов установлено значительное снижение аккумуляции мышьяка и тяжелых металлов в растениях, выращенных на почвах инокулированных ризобактериями. Ризобактерии за счет биосорбции создавали биохимический барьер в почве для поступления элементов-токсикантов в исследуемые растения. Высокие концентрации элементов во фракции ЭДТА указывают на возможность образования органических хелатных форм, большая часть из которых может сорбироваться ризосферными бактериями на поверхности клетки.

На основе представленного материала обосновано третье защищаемое положение.

*Ризобактерии *Azotobacter* и *Bacillus* способствовали аккумуляции тяжелых металлов и мышьяка в виде органических хелатных соединений и их иммобилизации в почве, что приводило к снижению накопления элементов-токсикантов в растениях.*

В **заключении** сформулированы основные выводы по работе, которые сформулированы последовательно и соответствуют поставленным задачам диссертационной работы.

Замечания:

1. Существенных замечаний нет. Имеется ряд текущих вопросов и предложений для дальнейших исследований.

2. Объектом исследований является территория с почвами и растительностью. Можно написать, что объекты исследований: почвенно-растительный покров или почвы и растительность территории бывшего АМЗ. Тогда возникает необходимость в их характеристике или описании. Хотя ошибки нет, можно и территорию исследовать, а в дальнейшем расширить объект. В последующих исследованиях можно больше уделить внимания названиям почв.

3. Не заметила в работе корреляционных связей между концентрациями загрязняющих элементов и содержанием фракции физической глины. Возможно, они имеются, вне работы, так как все данные, конечно, трудно вместить с диссертационную работу и иногда приходится сокращать. Если нет, то можно в будущем это сделать.

Сделанные замечания не снижают уровень проведенных исследований, обобщен и систематизирован большой объем данных по химическому составу почв и растений, форм нахождения мышьяка и тяжелых металлов территории бывшего мышьякового завода г. Свирска. Диссертационная работа базируется на фактическом материале. Проведено комплексное исследование не только валовых содержаний химических элементов в почве, но и их подвижных форм. Данные для формулировки защищаемых положений получены на современном аналитическом оборудовании и выполнены высоко квалифицированными сотрудниками. Соискатель проявил себя как специалист высокого уровня, выполнил поставленные цели и задачи. Положения, выносимые на защиту соискателем, хорошо обоснованы и доказаны.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Структура автореферата оформлена по защищаемым положениям. Автореферат написан грамотным языком, дает целостное представление о проведенных автором исследованиях.


Основные научные положения диссертации опубликованы в 21 публикации, в том числе четырех статьях, рецензируемых в ВАК, а также зарубежных системах Web of Science, Scopus. Результаты работы докладывались на международных и всероссийских научных конференциях.

Представленная диссертационная работа Баенгуева Б. А. «Эколого-геохимическое состояние почвенно-растительной системы техногенной зоны мышьякового завода г. Свирска после его ликвидации» отвечает требованиям, установленным к кандидатским диссертациям, и соответствует критериям в пп. 9-11, 13 и 14 Постановления Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор – Баенгуев Борис Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.21 – Геоэкология.

Отзыв утвержден на заседании лаборатории геохимии ландшафтов и географии почв Федерального государственного бюджетного учреждения «Институт географии им В.Б. Сочавы», протокол заседания № 39 от 27.11.2024 г.

Белозерцева Ирина Александровна
заведующая лабораторией геохимии ландшафтов
и географии почв Федерального

государственного бюджетного учреждения
«Институт географии им В.Б. Сочавы»,
кандидат географических наук
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
Тел. (3952) 42-70-89
E-mail: belozia@mail.ru

05.12.2024 

Белозерцева Ирина Александровна

Подпись Белозерцевой Ирины Александровны заверяю

