

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 ученой степени кандидата геолого-
минералогических наук по специальности 1.6.21 – «Геоэкология»

Актуальность проблемы определяется необходимостью изучения процессов трансформации опасных загрязняющих веществ в техногенных экосистемах и особенностью их влияния на окружающую природную среду. Это имеет важное значение при разработке рудных месторождений и их использования в металлургической промышленности. В процессе этой деятельности образуются отходы с высокими концентрациями тяжелых металлов и мышьяка, которые накапливаются в отвалах металлургических предприятий. За счет тонкого измельчения и производственной переработки сульфидных минералов отходы имеют высокую реакционную способность. Наибольшую опасность представляют старые отвалы, где со временем происходят процессы физико-химических преобразований сульфидов с образованием гипергенных минералов в зонах окисления, растворимых форм потенциально токсичных элементов, которые интенсивно мигрируют в окружающую среду, загрязняя почвы и растения. При длительном открытом хранении содержимое отвалов подвергается вымыванию атмосферными осадками и пылевому выветриванию. Такая опасная ситуация возникла в зоне отвалов и бывших заброшенных строений Ангарского металлургического завода (АМЗ) по производству мышьяка, находящегося более 60 лет в черте г. Свирска (Южное Прибайкалье). Приведенные в диссертации результаты эколого-геохимической оценки почв и растений на территории бывшего АМЗ после его ликвидации актуальны не только для решения возможности использования этой территории в хозяйственных целях, но и для понимания механизма миграции и трансформации форм нахождения мышьяка и тяжелых металлов в системе «почва-растение».

Особую актуальность также могут иметь приведенные в диссертации результаты исследования влияния ризосферных бактерий *Azotobacter* и *Bacillus* на биогеохимические процессы в почво-растительной системе зоны техногенеза, что также может иметь большое значение для ремедиации почв и для разработки новых биотехнологий в этой области. Комплексные исследования, проведенные автором, весьма актуальны, так как позволили оценить степень экологической опасности техногенного объекта на окружающую среду и могут быть полезны для разработки биотехнологий, применяемых для биоремедиации почв и фитостабилизации потенциально токсичных элементов.

Научная новизна исследований. Получены новые результаты по оценке степени загрязнения потенциально токсичными элементами почв и сопряженных с ними растений на территории АМЗ, после его ликвидации. Установлены новые

данные, характеризующие биогеохимические процессы в техногенных почвенно-растительных системах, связанные с влиянием формы нахождения мышьяка и тяжелых металлов на степень накопления и особенности транслокации их в растениях. Выявлены закономерности межэлементного взаимодействия между потенциально токсичными и биогенными элементами в условиях токсического стресса в растениях зоны техногенеза. Получены новые данные, характеризующие биогеохимические процессы, связанные с влиянием комплексного биопрепарата на основе ризосферных бактерий *Azotobacter*, *Bacillus megaterium* var. *Phosphaticum* и *Bacillus mucilaginosus* на мобилизацию и иммобилизацию мышьяка, тяжелых металлов и биофильных элементов в системе «почва-растение», что имеет важное научное значение.

Значимость для науки и практики. Проведенное исследование имеет высокую теоретическую значимость, заключающуюся в расширении имеющихся представлений о трансформациях тяжелых металлов и металлоидов в почве при разных уровнях техногенного загрязнения. Результаты диссертации представляют большой интерес для экологического мониторинга и послужат фундаментальной основой для прогнозирования неблагоприятных изменений в исследуемом районе.

По результатам эколого-геохимических исследований автором сделан вывод, что по уровню загрязнения верхних горизонтов почв мышьяком, свинцом и другими потенциально токсичными элементами, большая часть изученной территории не пригодна для землепользования. Выводы могут служить основой для планирования эффективных мер по рекультивации и проведению мониторинговых работ на территории бывшего мышьякового завода г. Свирска, что имеет важное практическое значение. На основе биогеохимического изучения растений установлено, что пырей ползучий (*Elytrigia repens*) обладает высокой толерантностью к мышьяку и тяжелым металлам, и его можно использовать в качестве фитостабилизатора в условиях повышенного загрязнения почв потенциально токсичными элементами. Антагонистические отношения между потенциально токсичными и эссенциальными элементами в растениях могут являться критериями степени фитотоксичности растений в зонах техногенного загрязнения. Результаты изучения влияния ризосферных бактерий *Azotobacter*, *Bacillus* могут быть полезны для разработки новых биотехнологий, используемых для фиторемедиации, рекультивации почв и выращивании растений.

Степень обоснованности и достоверности результатов. Достоверность результатов исследования обеспечена значительным количеством проанализированных проб почв и растений, форм нахождения широкого спектра элементов, использованием современных аналитических методов, статистической обработкой большого массива полученных данных. Защищаемые положения и выводы, представленные в диссертации, соответствуют целям и задачам исследования. Обоснованность научных выводов не вызывают сомнения. Результаты диссертации хорошо апробированы, опубликованы в пяти статьях журналов перечня ВАК РФ и входящих в международные системы цитирования

Web of Science и Scopus. Материалы диссертации были представлены на 17 международных и всероссийских конференциях. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Основное содержания диссертации. Диссертационная работа Баенгуева Б.А. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 281 наименований и 15 приложений. Работа изложена на 148 страницах, включая 35 таблиц и 41 рисунок.

В разделе **Введение** обоснована актуальность исследования работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, практическая значимость и представлены основные положения, выносимые на защиту.

Глава 1 содержит обзор литературы по теме исследований. В первой части рассмотрена проблема загрязнения почв мышьяком и тяжелыми металлами и основные источники их поступления. Далее дается обзор и история методов изучения форм нахождения соединений тяжелых металлов в почве путем поэтапной экстракции. Рассмотрены основные методы рекультивации загрязненных почв.

Глава 2 содержит описание физико-географических условий территории объекта исследования и методологию проводимых автором исследований. Рассмотрены три участка изученной территории, отличающиеся по техногенной нагрузке и формами соединений мышьяка и тяжелых металлов в почвах и грунте бывших отходов производства. Описаны аналитические методы, используемые при химическом анализе образцов почв и растений, примененные в процессе эколого-геохимических исследований, и методы изучения форм нахождения основных потенциально токсичных элементов в почве. Детально описана методика эксперимента по выращиванию культурных растений на техногенной почве при воздействии ризобактерий *Azotobacter* и *Bacillus*.

Глава 3. На основе геохимического изучения техногенных почв, приведенных в этой главе, сформулировано 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.

Обоснованием этого доказательства служат картосхемы содержания в техногенных грунтах, почвах и почвенных разрезах As, Pb, Zn, Cd, Cu, Hg, изучение форм нахождения и подвижности соединений этих элементов в техногенных почвах. Установлены закономерности распределения потенциально токсичных элементов по почвенному профилю, которые характеризуются изменением их подвижности под воздействием глинистого горизонта и увеличения значений рН на глубине. С использованием кластерного анализа на изучаемой территории выделены две ассоциации элементов, состоящие из халькофильных

элементов загрязнителей и сидерофильных, которые представляют меньшую опасность. По результатам расчета суммарного показателя загрязнения As, Pb, Zn, Cu, Cd исследуемых почв, сделан вывод, что уровень загрязнения участка 1 - зона бывших мышьяковых отвалов, по оценочной шкале можно отнести к высокому и чрезвычайно высокому. Источником этой группы элементов являлись сульфидные руды, которые использовали при получении мышьякового концентрата.

Глава 4 посвящена изучению особенности миграции потенциально токсичных элементов в системе «почва-растение» и их взаимодействие с биогенными макроэлементами в различных органах растений в условиях техногенеза.

На основе представленного материала по данному вопросу соискателем сформулировано второе защищаемое положение:

Установлена способность растений пырея *Elytrigia repens* аккумулировать As и тяжелых металлов 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.

Это положение рассмотрено на основе изучения распределения концентраций As, Pb, Cu, Zn, Hg и биогенных элементов в различных органах травянистого растения – пырея ползучего (*Elytrigia repens*), в корнях и в надземной части растений, для которых были рассчитаны коэффициенты биологического накопления Кб и транслокационные индексы ТИ. Повышенные значения для этих показателей установлены в растениях на участке 2 – территории бывших строений завода, где непосредственно перерабатывались сульфидные руды и где проведены основные рекультивационные мероприятия. Повышенные значения оценочных индексов Кб и ТИ автор связывает с относительно невысокими содержаниями химических элементов и более подвижными их формами главным образом As и Pb в почве этого участка.

На основе множественной корреляции потенциально токсичных и биогенных элементов в растениях, а также кластерного анализа установлена отрицательная корреляционная связь между потенциально токсичными металлами и основными элементами питания P и K в надземных органах растений. Мышьяк и тяжелые металлы выделяются в одну группу с Si и Na, что, по мнению автора, может свидетельствовать о связывании данной группы элементов в клеточной стенке растений, так как данные элементы обычно концентрируются в клеточной стенке. По биогенным элементам выделены две группы (Mg-Ca) и (P-K). Сделан вывод, что в условиях техногенеза в надземной части растений происходит нарушение метаболических процессов, выраженное уменьшением накопления основных биогенных элементов K и P в клетках растений. В корневой системе наблюдается пассивное поглощение халькофильной группы элементов из загрязненных почв.

Глава 5 посвящена описанию эксперимента по выращиванию культурных растений (овес, пшеница, редис, салат) при инокуляции почв комплексным

препаратом на основе ризосферных бактерий *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium* var. *phospaticum* и *Bacillus mucilaginosus* с использованием загрязненных почв, отобранных вблизи отвала.

На основе представленного материала в этой главе 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 результате эксперимента установлено значительное снижение аккумуляции мышьяка и тяжелых металлов в растениях, выращенных на почвах инокулированных ризобактериями, относительно контрольного опыта без влияния бактерий. Автор делает вывод, что комплексный препарат на основе ризосферных бактерий способен сорбировать и иммобилизовать мышьяк и тяжелые металлы в труднодоступные для растений соединения, что способствует снижению их в растениях. Высокие концентрации элементов по фракции ЭДТА в почвах указывают на возможность образования органических хелатных форм, большая часть из которых может сорбироваться ризосферными бактериями на поверхности клетки, тем самым снижая концентрации мышьяка и тяжелых элементов в растениях. Установлен максимальное накопление мышьяка и тяжелых металлов в корневой системе.

В разделе **Заключение** сформулированы основные выводы по работе, которые могут иметь большое научное и особое практическое значение. Автор делает вывод, что после ликвидации промышленных объектов Ангарского металлургического завода, концентрации многих химических элементов в почвах и грунтах остаются очень высокими, превышающими ПДК в сотни раз в зоне остатков бывших отвалов. На удалении от этой зоны степень загрязнения почв уменьшается, а миграционная подвижность ХЭ увеличивается, в результате чего большая часть изученной территории не пригодна для землепользования и остается опасной зоной для проведения непосредственно на ней хозяйственной деятельности.

Оригинальность представленной диссертационной работы заключается в комплексировании различных методов и подходов при эколого-геохимической оценке степени загрязнения почв и установлении механизмов преобразования форм соединений мышьяка и тяжелых металлов в техногенной почвенно-растительной экосистеме.

Проведенные исследования позволили выделить основные закономерности и факторы, влияющие на миграцию тяжелых металлов и As в системе «почва – растение» в условиях техногенеза. Полученные результаты исследований имеют не только практическое значение, связанное с оценкой эколого-геохимического состояния почвенно – растительной системы изученной территории, но и фундаментальное научное значение. Результаты исследований могут представлять

большой интерес в области разработки новых биотехнологий, фиторемедиации, биоремедиации почв, в растениеводстве.

Вопросы, замечания и пожелания по диссертационной работе:

1. Объект исследования в разделе 2.1 представлен лишь частично: не приведены площади, занимаемые 3 ключевыми участками, полное название почв по классификации РФ и WRB, нет ссылки на руководящие документы при отборе проб почв и грунта, не дается описание профилей заложенных почвенных разрезов. При характеристике первых двух участков правильнее было бы назвать техногенно-трансформированные почвогрунты, согласно классификации почв России, например, хемоземы (стр. 22-23 диссертации). В описании процесса отбора растительных проб и их последующей подготовки отсутствуют ссылки на соответствующие методики.

2. К сожалению, в работе из физико-химических свойств почв проанализирован органический углерод (Сорг) и величина рН. Почему для очень кислых почв определялся рН водный, а не актуальная и гидролитическая кислотности почв. Соискатель отмечает наличие карбонатов в профиле почв и их роль в формировании геохимического барьера (стр. 36-37), при этом желательно было бы представить данные по содержанию карбонатов и обменных катионов. Также следовало бы определить содержание физ. глины и ила в образцах, чтобы судить о наличии на глубине развитого природного глинистого горизонта и его роли в качестве геохимического барьера для исследуемых элементов.

3. На взгляд оппонента, работа бы выиграла при наличии фонового участка, представленного серой лесной карбонатной почвой, находящейся вдали от источника загрязнения, что дало бы возможность более полно проанализировать трансформацию поллютантов в почве, а также рассчитать коэффициент концентрации, используя фоновые значения их содержания в почве, а не ПДК.

4. Почему автор сравнивает полученные данные о содержании тяжелых металлов и As в почвах исследуемой территории с ПДК данных элементов и на их основе рассчитывает коэффициенты концентрации элементов (стр. 30), не используя ОДК согласно СанПиН, 2022?

5. В начале главы 3 дается большой объем общей информации о токсичности и основных источниках поступления химических элементов в почвах. Данная информация уместнее смотрелась бы в главе 1, поскольку не имеет отношения к результатам, а затрагивает именно проработанность в научной литературе проблемы загрязнения почв поллютантами.

Рекомендации: согласно терминологии правильно писать не карбонатная серая лесная почва, а серая лесная карбонатная. Соискатель по тексту использует различную терминологию в обозначениях исследуемых элементов: «потенциально токсичные элементы», «потенциально токсичные ХЭ», «тяжелые металлы», рекомендуется придерживаться одной терминологии. Корректнее писать не загрязнитель, а загрязняющее вещество.

Высказанные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы, а лишь подчеркивают важность и значимость представленного материала. В целом, диссертационная работа «**Эколого-геохимическое состояние почвенно-растительной системы техногенной зоны мышьякового завода г. Свирска после его ликвидации**» полностью соответствует требованиям и критериям Постановления Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 «Положение о порядке присуждения ученых степеней» (в редакции от 25 января 2024 года), 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.

Официальный оппонент:

доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой почвоведения и оценки земельных ресурсов
Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского
ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»
Минкина Татьяна Михайловна

5 декабря 2024 г.

Контактные данные:

тел.: +7(918)553-16-32, e-mail: tminkina@mail.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

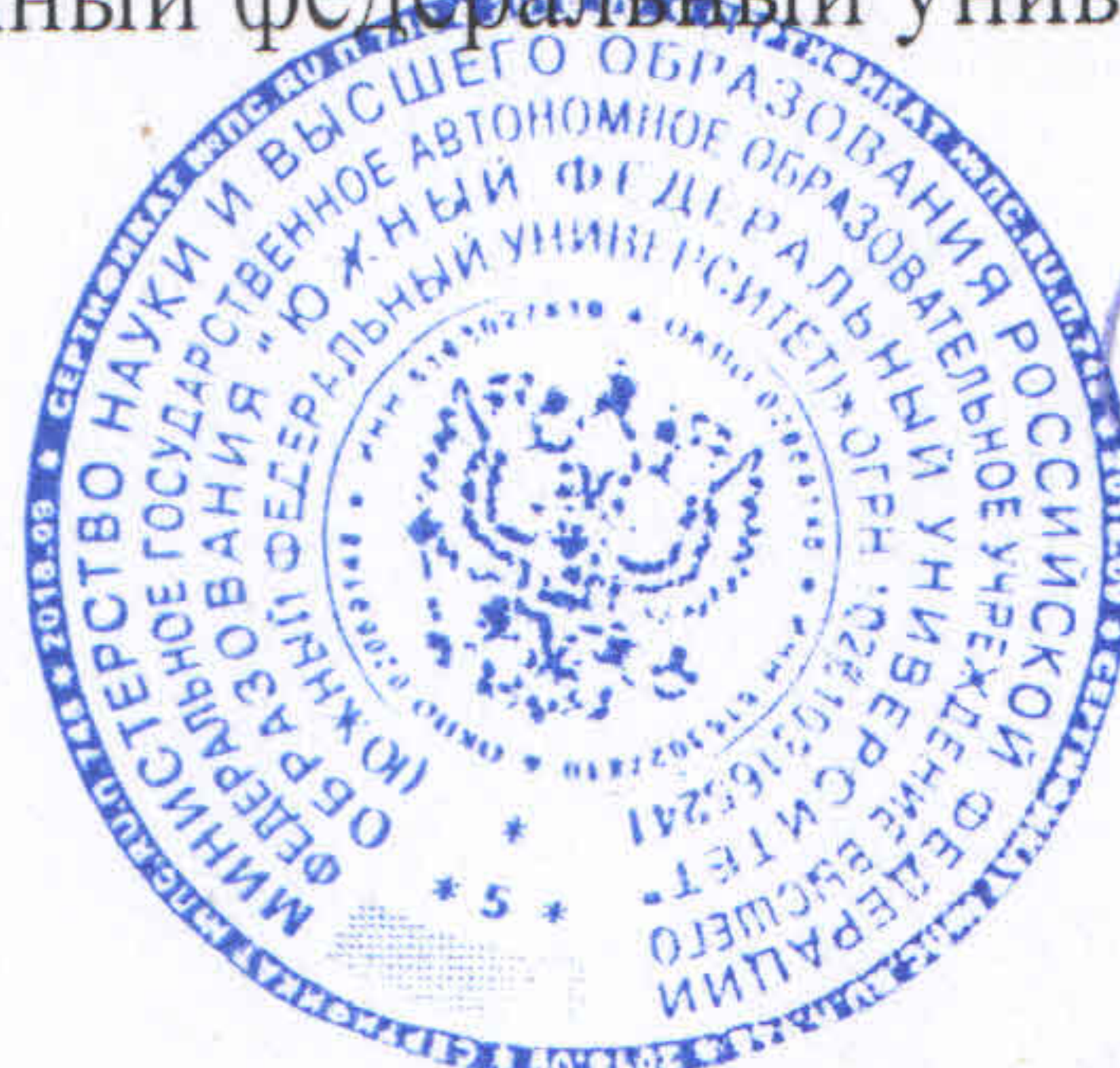
03.00.27 – Почвоведение (биологические науки)

03.00.16 – Экология (биологические науки)

Адрес места работы:

344090, Ростов-на-Дону, просп. Стачки, д. 194/1,
ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», кафедра почвоведения и оценки
земельных ресурсов Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского
Тел.: +78-918-553-16-32; e-mail: minkina@sfedu.ru

Подпись официального оппонента Т.М. Минкиной заверяю
Директор Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского
Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Южный федеральный университет»



К.Ш. Казеев