

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Тимофеева Ивана Вячеславовича «Тяжелые металлы и металлоиды в почвах и древесных растениях зоны влияния Джидинского W-Mo (Россия) и Эрдэнэтского Cu-Mo (Монголия) комбинатов», представленной на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.23 - физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов.

Среди основных проблем, которыми занимаются современная физическая география, биогеография, география почв и геохимия ландшафтов, важное место принадлежит исследованиям трансформации природных комплексов и формирования техногенных ландшафтов. Горнорудная промышленность относится к одной из самых неблагоприятных в экологическом отношении отраслей. В результате горнотехнической деятельности происходит глубокое преобразование природной среды, сопровождающееся ее загрязнением и механическим нарушением, изменением потоков вещества и энергии. В основу исследований положена комплексная сравнительная ландшафтно-геохимическая оценка техногенной трансформации ландшафтов под воздействием Джидинского W-Mo (ДВМК) и Эрдэнэтского Cu-Mo комбинатов, расположенных в бассейне р. Селенги - крупнейшей реки, впадающей в оз. Байкал и обеспечивающей до половины ежегодного стока воды в озеро, в том числе около 70% всего терригенного сноса. Геохимическим барьером на пути миграции тяжелых металлов и металлоидов (ТММ) в грунтовые воды, служат почвы и растительность, выступающие в роли естественного универсального фильтра, аккумулирующего и инактивирующего многие токсичные компоненты техногенных выбросов. Поэтому **актуальность** выбранной темы – изучение техногенной геохимической трансформации почв и древесных растений горнопромышленных центров – не вызывает сомнения.

Цель работы – оценка техногенной геохимической трансформации почв и древесных растений горнопромышленных центров в бассейне р. Селенги под влиянием разработки W-Mo и Cu-Mo месторождений. Для достижения этой цели соискателем были решены следующие **задачи**:

- проанализированы техногенные и природные факторы, определяющие условия развития и антропогенной геохимической трансформации почв и древесной растительности в горнопромышленных центрах;
- определены уровни накопления ТММ в поверхностных горизонтах почв различных функциональных зон и закономерности их пространственного распределения в зависимости от почвенно- и ландшафтно-геохимических факторов;

- выявлены основные черты латеральной и радиальной дифференциации почв горнопромышленных центров по содержанию ТММ, основные типы геохимических барьеров и изменение их емкости при техногенном воздействии;
- проанализирован микроэлементный состав ассимилирующих и многолетних органов древесных растений, его изменение под влиянием загрязнителей и связь с концентрацией ТММ в почвах;
- выполнена эколого-геохимическая оценка загрязнения компонентов ландшафтов в зонах влияния ГОК «Эрдэнэт» и ДВМК и проведено их районирование.

В диссертационной работе использованы материалы, полученные лично автором при проведении полевых и камеральных работ по теме НИР в период с 2010 по 2013 гг. В основу исследований положены результаты анализа 358 проб почв и 102 проб листьев, хвои и коры древесных растений. Обследованы 13 катен, включающих 49 почвенных разрезов и отражающих различные ландшафтно-геохимические условия. Определено содержание 16 тяжелых металлов и металлоидов типичных для W-Mo и Cu-Mo месторождений. **Достоверность** полученных результатов обеспечивается большим объемом фактического материала, использованием современных аналитических методов определения химического состава почв и растений в сертифицированных лабораториях, применением широкого комплекса подходов и методов анализа и обработки материала, включая ГИС-технологии.

Научная новизна работы заключается в функциональном зонировании горнопромышленных центров Закаменск и Эрдэнэт и установлении приоритетных элементов-индикаторов техногенного загрязнения почв в различных функциональных зонах. С помощью авторской методики автоматизированного построения путем последовательной обработки цифровой модели местности составлены ландшафтно-геохимические карты и выявлены пространственные закономерности и факторы накопления ТММ и их парагенетические ассоциации. Дана геохимическая специализация фоновых почв и древесной растительности районов исследования. Установлены основные черты латеральной и радиальной дифференциации почв по содержанию ТММ, типы латеральных и радиальных геохимических барьеров и изменение их емкости под техногенным воздействием. Впервые составлена серия моно- и полиэлементных геохимических карт изученной территории и карт латеральных геохимических барьеров. С помощью комплекса интегральных геохимических индексов получена эколого-геохимическая оценка загрязнения компонентов ландшафтов и состояния древесной растительности.

Практическая значимость работы состоит в возможности использования полученных результатов при разработке системы геоэкологического сопровождения недропользования в районах исследования. Результаты и методические подходы могут найти применение в ландшафтно-геохимических исследованиях горнопромышленных центров в

других регионах России. Полученные данные, характеризующие фоновую эколого-геохимическую обстановку, могут служить информационной основой при выполнении регионального экологического мониторинга.

Материалы ландшафтно-геохимических исследований включены в ряд учебных курсов кафедры геохимии ландшафтов и географии почв МГУ им. М.В. Ломоносова («Геохимия природных и техногенных ландшафтов», «Экогеохимия городских ландшафтов»).

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, содержит 50 рисунков, 22 таблицы и 6 приложений на 35 страницах. Библиографический список насчитывает 330 источников, в том числе 102 на иностранных языках.

В главе 1 (с. 13-42) приводится детальная физико-географическая характеристика районов исследований, техногенного воздействия и функциональное зонирование территорий. Рассматриваются особенности геологического строения, рельефа, климата, почвенного покрова и растительности, определяющие формирование ландшафтно-геохимической структуры природных комплексов. Представлены основные источники антропогенного воздействия, характеристика месторождений и особенности воздействия горнорудной промышленности в Закаменске и Эрдэнэте. Глава информационно очень насыщена и отражает хорошее знание автором объектов исследований. Замечания по Главе 1 носят скорее редакционный характер. Если останавливаться в целом на структуре главы, то следует отметить, что характеристику природных вод (подразделы 1.1.6 и 1.3.6) логичнее было бы разместить после соответствующих описаний климатических условий и до анализа почвенного и растительного покровов. Хотя при описании гидрографической сети изученных районов, автор приводит не только гидрологические характеристики, но и орографию, особенности почвенного покрова и растительности долин рек, а также размещение по берегам и в руслах водотоков источников техногенного воздействия. Это частично оправдывает структуру представления материала, но в этом случае нужно было бы назвать этот подраздел не «Природные воды», а «Ландшафтно-экологическая характеристика объектов исследования» (*замечание 1*). Кроме того, при характеристике растительности и при первом упоминании латинских названий растений их следует давать, как это принято в научной литературе, с указанием автора, которое при повторном упоминании уже не приводят (*замечание 2*).

Глава 2 (с. 43-58) включает характеристику используемых материалов и методов исследования. Применение сравнительно-географического, химико-аналитического, статистического, геохимического и картографического методов с использованием ГИС-технологий позволило автору собрать оригинальный фактический материал и провести его обработку на современном научном уровне. Замечаний по главе 2 нет.

В главе 3 (с. 59-80) рассмотрена пространственная дифференциация почвенного покрова по содержанию тяжелых металлов и металлоидов. В главе обосновано первое защищаемое положение. Установлена геохимическая специализация фоновых почв и ее изменение в связи со

сложным геологическим строением и сменой почвообразующих пород. Выявлено, что поверхностные горизонты фоновых почв вблизи Закаменска и Эрдэнэнта имеют соответственно W-Mo-Bi-Sb и Mo-Sb-Sr-As геохимическую специализацию, отвечающую природным геохимическим аномалиям. На большом объеме фактического материала показано, что при техногенной трансформации в поверхностных горизонтах почв горнопромышленных центров увеличивается концентрация ТММ: в Закаменске – Bi, W, Cd, Pb, Mo, Sb, Zn, Cu; в Эрдэнэнте – Mo и Cu. Обосновывается вывод, что перечень ТММ и их пространственная дифференциация обусловлены уровнем техногенной нагрузки, а при ее снижении начинают влиять почвенно- и ландшафтно-геохимические условия. Глава хорошо иллюстрирована картами, диаграммами и графиками, подтверждающими выявленные закономерности, содержит таблицу статистических показателей содержания ТММ в поверхностных горизонтах фоновых почв. К сожалению, фактический материал по содержанию ТММ в почвах в зоне влияния комбинатов, представленный в приложениях 1 и 2, дан по номерам точек отбора проб с указанием только функциональной зоны, без привязки к конкретным объектам. Это значительно затрудняет восприятие информации. Кроме того, по мнению рецензента, в тексте следовало бы дать сводную таблицу статистических показателей содержания ТММ в почвах загрязненной территории по функциональным зонам (*замечание 3*).

Глава 4 (с. 81-108) посвящена дифференциации тяжелых металлов и металлоидов в почвенных катенах и состоит из нескольких разделов. В первом разделе рассматриваются геохимические особенности фоновых катен. Делается справедливый вывод о том, что латеральная дифференциация ТММ в почвах фоновых катен вблизи горнопромышленных центров обусловлена близостью залегания почвообразующих пород, наличием обломков в почвенном профиле и вариабельностью физико-химических свойств почв. По результатам регрессионного анализа выявлены ведущие природные и антропогенные факторы, определяющие латеральное распределение ТММ в почвах катен. Большое внимание уделяется латерально-миграционной дифференциации ТММ, показано, что верхне-аккумулятивный тип распределения свойственен Cu, As, Sb, Mo, Pb, V, Co, Ni, Ba, Cd, Sn вблизи Закаменска и V, Cr, Co, Ni вблизи Эрдэнэнта; вне-аккумулятивный – Bi, Cr, W и Cu, Zn, Sr, Mo, Cd, Sn, W, Ba, Pb, соответственно; срединно-аккумулятивный – Sr, Zn вблизи Закаменска, нижне-аккумулятивный – As, Sb, Bi вблизи Эрдэнэнта. На основе сравнительного анализа геохимических особенностей почв фоновых катен и ландшафтно-геохимических сопряжений горнопромышленных центров дается обоснование второго защищаемого положения. Убедительным представляется вывод о том, что почвы горнопромышленных центров претерпели значительные изменения. Показано, что при техногенном воздействии и разрушении хвостохранилищ современными экзогенными процессами контрастность латеральной дифференциации ТММ возрастает в разы и десятки раз и приводит к накоплению в подчиненных ландшафтах: в

Закаменске Cu, Zn, As, Mo, Cd, Sn, Sb, W, Pb, Bi и в Эрдэнэте Cu, Sb, Mo, Pb, Bi, W. На примере нескольких катен рассматриваются закономерности поведения ТММ в сопряженном ряду почв от автономных к субаквальным позициям. Отмечаются различия в миграционной способности и аккумуляции ТММ в почвах изученных горнопромышленных районов. В Закаменске ТММ закрепляются на сорбционно-седиментационном (Cr, Ni, Cu, W, Pb, Bi, As, Sr), хемосорбционном (V, Co, Ba), глеевом (Mo, Cd, Sb), органо-минеральном (Sn) латеральных геохимических барьерах, а в Эрдэнэте – сорбционно-седиментационном (Cu, Mo), хемосорбционном (V, As, Cr, Ni, Ba) и кислотно-основном (Sr, W, Sn). В качестве замечания и рекомендации на будущее следует указать, что выявленные закономерности установлены на основе анализа валового содержания ТММ, но, по нашему мнению, для более достоверной аргументации изменения миграции и аккумуляции вещества в биогеохимическом круговороте необходима также оценка содержания подвижных форм ТММ в почвах (*замечание 4*). Как известно, в техногенезе происходит резкое увеличение подвижности большинства ТММ.

В **главе 5** (с. 109-122) рассмотрены особенности химического состава древесных растений. На достаточном материале показано, что в древесных породах вблизи горнопромышленных центров на фоне повышены концентрации не рудных, а элементов-спутников, характерных для Джидинского и Эрдэнэтского комплексов почвообразующих пород. Установлены приоритетные элементы-индикаторы природной минерализации и техногенного загрязнения окружающей среды: в Закаменске – Ba, Mn, Cd, Zn, Sr, Pb, в Эрдэнэте – Sr, Zn, Ba. Отмеченное явление связано, прежде всего, с различием в мобильности ТММ в компонентах окружающей среды и здесь, как отмечалось ранее, необходимы были бы данные по концентрации подвижных форм ТММ в почвах. В главе обосновывается третье защищаемое положение. Установлено, что при техногенном загрязнении ландшафтов анионогенными рудными элементами (W, Mo) и элементами-спутниками (As, Sn, Sb) древесные растения сохраняют катионофильную геохимическую специализацию с усилением акропетальности распределения ТММ в 1,5-50 раз. В целом можно согласиться с утверждением, что ассимилирующие органы лиственницы сибирской (*Larix sibirica Ledeb.*), березы плосколистной (*Betula platyphylla Sukaczew*), и гибридов тополя (*Populus sp.*) в условиях техногенного загрязнения обладают близким микроэлементным составом и слабой видовой избирательностью поглощения. Вместе с тем, автор делает справедливый вывод о том, что различия все же сохраняются, и наиболее информативным биоиндикатором техногенного загрязнения является накопление ТММ в хвое лиственницы сибирской – в обоих горнопромышленных центрах она имеет более высокие значения коэффициентов концентрации. На основе этого автор приходит к заключению о том, что наличие на поверхности хвои воскового слоя прочно связывает ТММ, которые не удаляются при выбранной методике пробоподготовки. Известно, что промывание под проточной водой и последующее ополаскивание листьев для удаления пыли,

осаждающейся на поверхности биомассы, приводит к вымыванию ТММ и из мезофилла листьев. Хотя такая методика широко распространена в биогеохимических исследованиях, мы также склоняемся к мнению, что не следует промывать пробы перед химическим анализом. В пользу этого говорит и тот факт, что при техногенезе большая часть ТММ поступает в растения фолитарным путем – загрязненная поверхность листа представляет собой единую систему с эпидермисом. Кроме того, возможно и выделение избыточного содержания химических элементов из живых тканей с отложением их в покровных тканях и на поверхности растений.

Существенных замечаний по главе 5 нет. Здесь, как и в главе 4, по нашему мнению, следовало бы представить сводную таблицу статистических показателей содержания ТММ в растениях не только фоновой, но загрязненной территории по функциональным зонам (*замечание 5*).

В главе 6 (с. 123-147) автором представлена эколого-геохимическая оценка состояния почвенного покрова и древесной растительности горнопромышленных центров. Для обоснования четвертого защищаемого положения автор использовал несколько интегральных показателей: суммарный показатель загрязнения почв (Z_c), коэффициенты опасности (кратности превышения ПДК), интегральный показатель загрязнения ($ИПЗ$), биогеохимической трансформации (Z_v) и др. На основе комплексной оценки полученного материала, анализа пространственного распределения ТММ с помощью ГИС-технологий установлено, что рудная специализация Джидинского и Эрдэнэтского рудных полей, технологии их разработки и особенности размещения отходов привели к чрезвычайно опасной экологической ситуации в Закаменске. Более половины площади почвенного покрова загрязнена W, Mo, Zn, As, Pb, Cd, Cu, Sb, Bi. В Эрдэнэте экологическая ситуация, в целом, неопасная, в промышленной зоне локальные участки загрязнены Cu и Mo. Проведенная оценка эколого-геохимического состояния почв выглядела бы логически завершенной в случае анализа подвижных форм ТММ (хотя бы для тех ТМ, для которых установлены ПДК, см. *замечание 4*).

Оценка состояния древесной растительности с применением показателя биогеохимической трансформации, расчета индикаторных отношений Fe/Mn , Pb/Mn , Zn/Cu и акропетального коэффициента позволила автору сделать вывод о чрезвычайно высоком в Закаменске и среднем в Эрдэнэте уровне биогеохимической трансформации с нарушениями процессов фото- и ферментосинтеза, а также ускоренным накоплением токсичных элементов по сравнению с эссенциальными. В целом, сделанный вывод представляется достаточно убедительным. Однако для достоверного заключения об ингибировании фото- и ферментосинтеза необходимо проведение комплекса биохимических, физиологических и морфологических исследований, включая учет продуктивности и запасов биомассы растительности (*замечание 6*). Используемые показатели, по мнению рецензента, могут служить лишь экспресс-показателями, указывающими на высокую вероятность дисфункции процессов жизнедеятельности. Кроме того,

разделение ТММ на токсичные и эссенциальные не является вполне удачным, поскольку известно, что практически все химические элементы участвуют в процессах жизнедеятельности, и речь должна идти не о «токсичных элементах», а об их токсичных концентрациях. Высокие концентрации «эссенциальных» Cu и Zn могут оказать больший негативный биологический эффект, чем кларковые значения «токсичных» Cd или Pb (*замечание 7*).

Из общих замечаний к работе следует отметить, что в тексте диссертации даны только 2 ссылки на публикации автора (*замечание 8*).

Завершая рассмотрение содержания исследования, необходимо подчеркнуть, что диссертационная работа представляет самостоятельное оригинальное исследование. Основные научные положения, выводы и рекомендации диссертации представляются правомерными. Положения, выдвинутые на защиту, в необходимой мере обоснованы. Отдельные замечания, отмеченные в отзыве, не ставят под сомнение главные научные результаты диссертационной работы.

Исходя из вышесказанного, считаю, что диссертация И.В. Тимофеева является самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой в результате исследования автором решена важная научная задача – дана оценка техногенной геохимической трансформации почв и древесных растений горнопромышленных центров в бассейне р. Селенги под влиянием разработки W-Mo и Cu-Mo месторождений. Диссертационное исследование вносит определенный вклад в развитие отечественного ландшафтоведения, физической географии и геохимии ландшафтов.

По теме диссертации опубликовано 27 работ, в том числе 3 статьи в журналах из перечня ВАК, 5 статей – в журналах из перечня Web of Science. Материалы представлены на 11 Международных и 3 Всероссийских конференциях.

Личный вклад диссертанта в подготовку рецензируемой работы очевиден и следует из:

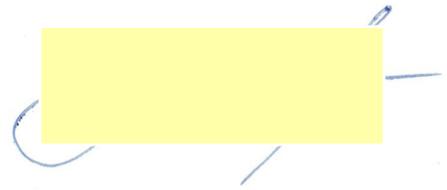
- 1) оригинальных материалов, положенных в основу работы и выводов, сделанных по результатам исследований;
- 2) большого числа личных публикаций и публикаций в соавторстве;
- 3) выступлений на многочисленных конференциях.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертационной работы, которая полностью соответствует заявленной специальности. Выводы (всего 10: с. 148-150) отвечают поставленным в работе задачам и подтверждены результатами собственных исследований, отличаются оригинальностью, новизной, теоретической и практической значимостью.

Таким образом, диссертация Тимофеева Ивана Вячеславович «Тяжелые металлы и металлоиды в почвах и древесных растениях зоны влияния Джидинского W-Mo (Россия) и Эрдэнэтского Cu-Mo (Монголия) комбинатов» соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2014 г. №842, предъявляемым

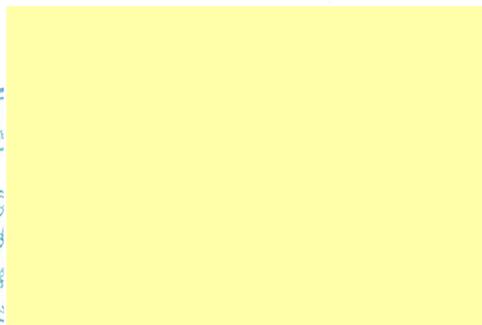
к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.23. – физическая география и биогеография, география почв и геохимии ландшафтов.

Доктор географических наук (25.00.23),
профессор кафедры геоэкологии и
природопользования
Института наук о Земле Санкт-
Петербургского государственного
университета
«17» января 2017 г.



Опекунова Марина Германовна

Институт наук о Земле федерального
государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Санкт-
Петербургский государственный университет».
Почтовый адрес: 199034, Санкт-Петербург,
Университетская набережная, 7-9
Интернет сайт: <http://spbu.ru>
e-mail: m.opekunova@spbu.ru
Телефон: +7 (812) 363-62-21



Опекунова
Марина Германовна