

На правах рукописи



Нгуен Ван Луен

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ
ПОДЗЕМНЫХ И РЕЧНЫХ ВОД, ДОННЫХ
ОТЛОЖЕНИЙ ВОДОТОКОВ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ
ВЬЕТНАМА (НА ПРИМЕРЕ УЕЗДА ЧОДОНЬ,
ПРОВИНЦИЯ БАККАН)**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (науки о Земле)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» на кафедре гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии.

Научный руководитель:

доктор географических наук, профессор
Савичев Олег Геннадьевич

Официальные оппоненты:

Бортникова Светлана Борисовна

доктор геолого-минералогических наук, профессор, Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН, г. Новосибирск), заведующая лабораторией геоэлектрохимии;

Челноков Георгий Алексеевич

кандидат геолого-минералогических наук, Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения Российской академии наук (ДВГИ ДВО РАН, г. Владивосток), ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории гидрогеохимии и океанического литогенеза.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, г. Улан-Удэ (ГИН СО РАН).

Защита состоится 12 апреля 2017 г. в 17ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.269.07 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30 (корпус 20, ауд. 504).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (г. Томск, ул. Белинского, 55) и на сайте: <http://portal.tpu.council/914/worklist>

Автореферат разослан «___» _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, к. г.-м. н., доцент



Л.В. Жорняк

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Исследование эколого-геохимического состояния водных объектов имеет важное прикладное и фундаментальное научное значение, поскольку его важнейшими задачами являются определение геохимического фона и отклонений от него, выявление и количественная оценка вклада природных и антропогенных факторов формирования как фоновых, так и аномальных концентраций. Решение указанных задач применительно к любому региону мира позволяет разработать долгосрочный прогноз изменения состояния экосистем разного уровня, оптимизировать структуру природопользования, повысить эффективность природоохранных мероприятий и поисков полезных ископаемых. Соответствующие работы особенно актуальны в Юго-Восточной Азии, где важность обеспечения экономики водой необходимого качества и сохранения окружающей среды многократно возрастает.

С учётом этого было выполнено исследование состояния подземных и речных вод, донных отложений малых рек в северной части Социалистической республики Вьетнам (СРВ), на территории, административно соответствующей уезду Чодонь провинции Баккан, а географически – водосборам рек Красная (Хонг) и Тхайбинь, а именно – междуречью крупных притоков реки Красная – рек Ло и Кау. На этой территории выявлены месторождения и рудопроявления Pb и Zn. Наиболее интенсивная добыча свинцово-цинковых руд (преимущественно шахтным способом) проводится в водосборе реки Бан Тхи (приток реки Гам, впадающей в реку Ло); несколько меньше объём добычи в водосборах рек Та Диенг (река, впадающая в озеро Ба Бё) и Дай (приток р. Ло). Выявлены и другие полезные ископаемые [Дао Мань Тиен, 1984; Нгуен Кинг Куок, 2001; Нгуен Хонг Куанг и др., 2011].

Всё это и определило **цель исследования** – исследование современного эколого-геохимического состояния подземных вод, речных вод и отложений в северной части Вьетнама (на примере уезда Чодонь провинции Баккан) и природно-антропогенных условий его формирования.

Для достижения этой цели были рассмотрены следующие **задачи исследования**: 1) определение фоновых и аномальных геохимических показателей подземных и речных вод, донных отложений малых рек; 2) определение антропогенного влияния на подземные и поверхностные водные объекты; 3) выявление природно-антропогенных закономерностей изменения химического состава вод и донных отложений водотоков.

Объект и методы исследования. Объектом исследования являются подземные и речные воды, донные отложения малых водотоков в северной части бассейна системы рек Красная (Хонг) и Тхайбинь, административно соответствующей уезду Чодонь провинции Баккан Социалистической республики Вьетнам. В процессе исследования использовались следующие методы: ландшафтно-геохимический, географо-гидрологический, статистический, методы математического моделирования, методы

химического анализа вод и донных отложений (масс-спектрометрический с индуктивно связанной плазмой, атомно-абсорбционный, ионная хроматография и другие).

Исходные материалы. Использованы данные собственных исследований, выполненных совместно с сотрудниками Томского политехнического университета (Российская Федерация) в 2015–2016 гг., материалы Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды провинции Баккан и Вьетнамского Института геологии и минеральных ресурсов [Нгуен Кинг Куок и др., 2001; Нгуен Чонг Зунг, 2006; Нгуен Хонг Куанг и др., 2011; Нгуен Мань Ха и др., 2014], полученные в 2010–2014 гг. при участии автора.

Научная новизна. Впервые количественно оценены зоны влияния горно-обогатительных фабрик на состояние водных объектов в северной части Вьетнама и обоснованы гидрологические показатели выявления геохимических аномалий в рассматриваемом регионе Индокитая, получены значения этих критериев, соответствующие резкому увеличению концентраций химических элементов в водах и донных отложениях, разработана методика оценки антропогенного влияния на водные объекты региона при добыче твёрдых полезных ископаемых, определены фоновые концентрации большого количества элементов в подземных и речных водах, речных отложениях в северной части Вьетнама.

Научные положения, выносимые на защиту

1. Эколого-геохимическое состояние речных вод, донных отложений водотоков в районах добычи свинцово-цинковых руд в междуречье рек Ло и Кау характеризуется как неудовлетворительное вследствие повышенных (относительно геохимического фона и нормативов качества) содержаний Pb, As, Al, в ряде случаев – Zn, Fe, Cd, Hg, Au, Bi, Ag, редкоземельных элементов, NO_2^- . Состояние подземных вод в целом удовлетворительное.

2. Превышение геохимического фона и нормативов качества воды связано с влиянием комплекса природных и антропогенных факторов. Наиболее значимое влияние добычи и обогащения свинцово-цинковых руд на состояние подземных и поверхностных водных объектов в междуречье рек Ло и Кау наблюдается на участках до 4,5–5,0 км от источника загрязнения, максимальная протяжённость загрязнённых участков – до 11–12 км.

3. Вероятность обнаружения аномальных концентраций Pb и Zn в донных отложениях и речных водах в междуречье рек Ло и Кау возрастает при условии, что показатель сопряжённости речной сети и тектонических нарушений $P(r/f)$ более $0,6 \text{ км/км}^2$, а соотношение площади водосбора и его верхней части без выраженной русловой сети F/F_U менее 6–7.

Достоверность результатов работы. Достоверность результатов исследования определяется: 1) применением современных высокоточных методов химического анализа и выполнением определений в аккредитованных лабораториях Томского политехнического университета и

Вьетнамского Института геологии и минеральных ресурсов; 2) использованием статистического и экспертного анализа данных наблюдений с учётом нормативных требований, принятых во Вьетнаме и России; 3) апробацией результатов исследования в процессе публикаций в рецензируемых научных журналах и докладов на научных конференциях.

Практическая значимость работы. Результаты исследования являются научной основой для: 1) выявления природных и природно-антропогенных аномалий в водных объектах на севере Вьетнама; 2) оптимизации сети государственного мониторинга водных объектов и геологической среды в бассейне системы рек Красная и Тхабинь; 3) нормирования антропогенных воздействий на водные объекты и разработки долгосрочных программ комплексного использования и охраны водных ресурсов на севере Вьетнама; 4) проведения учебных занятий по геоэкологии, гидрохимии и геохимии в университетах Социалистической республики Вьетнам и России.

Апробация работы. Основные положения диссертации: 1) опубликованы в трёх статьях в рецензируемых журналах из перечня ВАК, в журналах «Вестник естествознания» (г. Иркутск), «Ho Chi Minh City University of education Journal of Science» (г. Хошимин) и в материалах ряда конференций; 2) докладывались и обсуждались на конференциях в Томском политехническом университете (ноябрь 2015 г.) и Институте геологии Уфимского научного центра РАН (г. Уфа, 21-27.09.2015 г.).

Личный вклад автора. Автором лично сформулированы защищаемые положения на основе полевых работ и анализа данных, основная часть которых получена лично в 2015–2016 гг. В том числе, автором в течение 2010–2014 гг. были отобраны 93 пробы подземных и поверхностных вод, в 2015-2016 гг. – 10 проб подземных вод, 21 проба речных вод, 11 проб донных отложений в междуречье рек Ло и Кау, выполнены сбор, обобщение и анализ геохимических данных, на основе которых выявлены основные особенности эколого-геохимического состояния водных объектов в исследуемой части бассейна системы рек Красная и Тхайбинь и проанализированы природно-антропогенные условия его формирования с учётом добычи свинцово-цинковых руд.

Структура и объём диссертации. Диссертация объёмом 119 страниц машинописного текста состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 149 наименований, содержит 39 рисунков и 24 таблицы.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю, д.г.н., проф. О.Г. Савичеву и доценту кафедры геоэкологии и геохимии, к.г.-м.н. В.А. Домаренко. Автор искренне благодарен за ценные замечания по содержанию работы и её апробации д.г.-м.н. С.Л. Шварцеву, проф. д.г.-м.н. Л.П. Рихванову, проф., д.г.-м.н. В.К. Попову, заведующей кафедрой гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии, к.г.-м.н. Н.В. Гусевой, к.г.-м.н. А.А. Хвощевской и всему коллективу кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии и кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета, своим

друзьям и коллегам в Институте геологии и полезных ископаемых республики Вьетнам.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Первое защищаемое положение

Эколого-геохимическое состояние речных вод, донных отложений водотоков в районах добычи свинцово-цинковых руд в междуречье рек Ло и Кау характеризуется как неудовлетворительное вследствие повышенных (относительно геохимического фона и нормативов качества) содержаний Pb, As, Al, в ряде случаев – Zn, Fe, Cd, Hg, Au, Bi, Ag, редкоземельных элементов, NO₂⁻. Состояние подземных вод в целом удовлетворительное.

В качестве основных объектов исследования выбраны подземные и поверхностные воды, донные отложения рек в пределах системы рек Красная (Хонг) и Тхайбинь (северная часть Вьетнама): реки Кау (участок верхнего течения) – крупного притока системы реки Красной (Хонг); реки Дай (приток реки Ло – притока реки Красной), её притоков Фо Дай и Намду; реки Та Диенг, впадающей в озеро Ба Бё; реки Бан Тхи (приток реки Гам, впадающей в реку Ло) и её притока – река Ченгу. Административно рассматриваемая территория соответствует уезду Чодонь провинции Баккан. Площадь исследуемой территории составляет 911,15 км², географические координаты – от 105°25' до 105°43' восточной долготы и от 21°57' до 22°25' северной широты. В геологическом строении исследуемого района принимают участие отложения трёх структурных этажей, залегающих на допалеозойском гранитно-метаморфогенном основании нижнего структурного этажа. Образования нижнего и среднего структурных этажей слагают крупную грабен-синклиналь, выполненную осадками ордовик-силурийского и девонского возрастов. Строение грабен-синклинали осложнено впадинами, выполненными осадками верхнего структурного этажа верхнетриасового возраста [Дао, 1984; Нгуен, 2001]. На территории выделены водоносные горизонты и комплексы в пористых отложениях четвертичного возраста, в трещиноватых и карстовых осадочных породах [Чан, 1984; Хоанг, 2004].

Исходными данными послужили результаты гидрогеохимических исследований, проведённых в Томском политехническом университете (ТПУ) в 2015–2016 гг., а также фондовые и опубликованные материалы Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды провинции Баккан и Института геологии и полезных ископаемых Вьетнама за 2010–2014 гг. [Нгуен К.К. и др., 2001; Нгуен Ч.З., 2006; Нгуен Х.К. и др., 2011; Нгуен М.Х. и др., 2014], полученные при участии автора (93 пробы подземных и поверхностных вод). Методика исследования включала в себя:

1) отбор в меженный период проб речных и подземных вод: 1.1) 14–16.02.2015 г. – 10 проб речных (рр. Бан Тхи, Ченгу, Дай, Фо Дай, Кау, Та Диенг) и 5 проб подземных вод; 19–20.2016 г. – 11 проб речных (рр. Дай, Фо Дай, Намду, Бан Тхи, Ченгу) и 5 проб подземных вод; пробы речных вод отбирались из слоя 0,2–0,5 м от поверхности в специально подготовленные

ёмкости, пробы подземных вод отбирались из колодцев с глубины 7,5–10 м и скважин с глубины 13–41 м; район исследований и размещение пунктов отбора проб воды показаны на рис. 1;

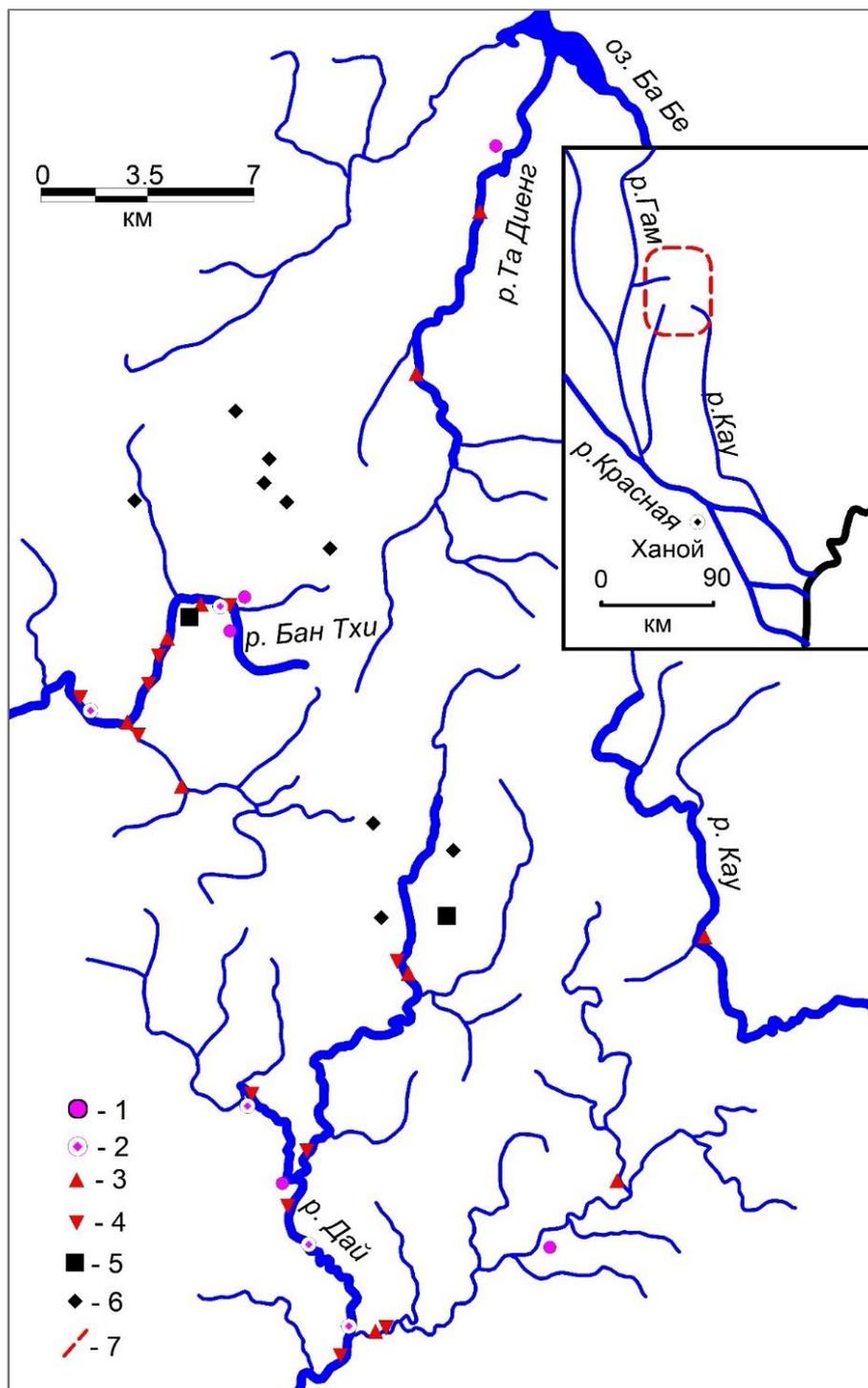


Рисунок 1 – Схема расположения района исследований и пунктов отбора проб в междуречье рек Ло и Кау; пункты отбора проб: 1 – подземные воды в 2015 г.; 2 – подземные воды в 2016 г.; 3 – речные воды в 2015 г.; 4 – речные воды и донные отложения в 2016 г.; 5 – горнообогатительные фабрики; 6 – рудники; 7 – район исследования

2) отбор в 2016 г. проб донных отложений из верхнего слоя 0,2 м с помощью донного щупа (в тех же точках, где выполнялся отбор речных вод в 2016 г.); 3) проведение одновременно с отбором проб воды измерений глубины и ширины потока, скоростей течения и последующее определение расходов воды, а также определение ряда расчётных гидрологических характеристик; 4) определение химического состава речных и подземных вод, водных вытяжек из донных отложений (фракция менее 0,5 мм) в гидрогеохимической лаборатории ТПУ; в пробах подземных и речных вод проводилось определение: в 2015–2016 гг.: потенциметрическим – pH; титриметрическим – Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , CO_2 , Cl^- , перманганатной (ПО) и бихроматной (БО) окисляемости; турбидиметрическим – SO_4^{2-} ; фотометрическим – Si, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , ионной хроматографией – Na^+ , K^+ ; в 2015 г.: инверсионно-вольтамперметрическим – Zn, Cd, Pb, Cu; фотометрическим – Fe, атомно-абсорбционным – Al; в 2016 г.: масс-спектрометрическим с индуктивно-связанной плазмой (с использованием масс-спектрометра NexION 300D) – Li, Al, P, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Au, Hg, Pb, Bi; определение химического состава водных вытяжек из донных отложений осуществлялось с использованием следующих методов: pH – потенциметрического; Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , CO_2 , Cl^- , ПО, БО – титриметрического; SO_4^{2-} – турбидиметрического; NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} – фотометрического; Na^+ , K^+ – ионной хроматографии; Li, Si, Al, P, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Au, Hg, Pb, Bi – масс-спектрометрического с индуктивно-связанной плазмой; 5) статистический анализ данных, включавший в себя оценивание параметров, исключение экстремальных значений, корреляционный и регрессионный анализ; в качестве характеристики фоновых концентраций, согласно [Инструкция по геохимическим.... 1965], были использованы среднее геометрическое C_G и верхняя граница его определения C_{GUP} :

$$C_{GUP} = C_G \cdot \exp\left(\frac{3 \cdot \sigma_{\ln C}}{\sqrt{N}}\right), \quad (1)$$

где $\sigma_{\ln C}$ – среднее квадратическое отклонение логарифма концентрации; согласно [Головин и др., 2002], к аномальным отнесены значения, превышающие C_{GUP} в два раза и более; общая оценка геохимического состояния компонента окружающей среды проводилась по индексу:

$$Z = \sum \frac{C}{C_{GUP}} - (N_m - 1), \quad (2)$$

где N_m – количество случаев, когда $C/C_{GUP} > 2$; 6) расчёт индекса насыщения; б) геоинформационный анализ территории, оценка и анализ гидроморфологических показателей.

Геоинформационный и гидрологический анализ основывался на следующих допущениях: а) густота речной сети (отношение суммарной длины всех водотоков к площади водосбора) интерпретируется как

вероятность направленного (руслового) движения поверхностных вод по водосбору $P(r)$, а плотность распространения тектонических нарушений в пределах водосбора (отношение суммарной длины нарушений к площади водосбора) – как вероятность $P(f)$; б) вероятность совмещения речной сети и тектонических нарушений $P(r \cdot f)$ в случае независимости друг от друга оценивается как произведение $P(r)$ и $P(f)$, а в случае зависимых величин:

$$P(r \cdot f) = P(r/f) \cdot P(f) = P(f/r) \cdot P(r), \quad (3)$$

где $P(r/f)$ и $P(f/r)$ – условные вероятности; в) между концентрациями вещества в воде или донных отложениях, слоем водного стока и площадью водосбора при определённых условиях [Савичев, Домаренко, 2012] существует связь, ориентировочно имеющая вид:

$$C = C_U \cdot \frac{Y_U}{Y} \cdot \left(\frac{F_U}{F} \right)^k, \quad (4)$$

где C , Y , F – концентрация вещества (мг/дм^3 или мг/кг), слой водного стока (мм) и площадь водосбора (км^2) в расчётном створе; C_U , Y_U , F_U – концентрация вещества (мг/дм^3 или мг/кг), слой водного стока (мм) и площадь водосбора (км^2) в истоках реки без выраженной русловой сети; k – эмпирический коэффициент; г) анализ взаимосвязанности геологических, геоморфологических и гидрологических процессов сводится к оценке вероятностей $P(r)$, $P(f)$, $P(r \cdot f)$, $P(r/f)$, площадей F_U и F соответствующих им значений Y и Y_U , гидроморфологического показателя K_T , максимальных расходов воды, расчёту коэффициентов корреляции, погрешностей их определения и выявлению регрессионных зависимостей.

В рассматриваемой работе длины водотоков, площади водосборов, протяжённость тектонических нарушений и участков совпадений речных долин и тектонических нарушений определялись по цифровым топографической и геологической картам северной части Вьетнама в формате MapInfo. Совпадение оценивалось по огибающей кривой, которая проводилась по излучинам реки с учётом ширины долины и удвоенной погрешности определения расстояния по карте в размере 0,5 мм в масштабе карты [ВСН 163-83]. Анализ условий самоочищения рек проводился как путём сопоставления геохимических показателей, полученных на реках (их участках) с разной антропогенной нагрузкой, так и посредством разработки и апробации математической модели распространения и трансформации веществ в речных водах.

Анализ имеющихся данных показал, что подземные воды рассматриваемой территории в целом характеризуются как пресные, гидрокарбонатные кальциевые, слабокислые или нейтральные. В ряде случаев они содержат Mn, Si, Al (реже – Fe, Zn, Cd, As, Al) в количестве, превышающем установленные в Российской Федерации и Вьетнаме нормативы хозяйственно-питьевого водопользования. Наибольшие концентрации микроэлементов чаще всего отмечены на участках в водосборах р. Бан Тхи и Дай на расстоянии до 5 км от горнообогатительных фабрик, а внутри года – в период дождей. В то же время, необходимо

отметить, что, несмотря на продолжительную историю добычи свинцово-цинковых руд на отдельных участках исследуемой территории, подземные водные объекты обладают определённой устойчивостью к антропогенным воздействиям и способностью самовосстановления.

Изученные реки относятся к категории «малых рек». В меженный период изученные поверхностные воды в целом пресные с малой и средней минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые, нейтральные и слабощелочные, от очень мягких до умеренно жёстких, с очень малой окисляемостью, по содержанию органических и биогенных веществ – бета-мезосапробного класса [ГОСТ 17.1.2.04-77]. Превышение российских нормативов качества воды в объектах хозяйственно-питьевого назначения наблюдается по содержанию Si, Fe, Al, As, Pb. Нарушение российских рыбохозяйственных нормативов в большинстве случаев отмечается по содержанию NO_2^- , Fe, Al, Mn, Cu, Zn, Pb. Превышения вьетнамских нормативов качества вод в объектах хозяйственно-питьевого назначения зафиксированы по содержанию Fe, Al, As, Pb, в объектах рыбохозяйственного назначения – по содержанию NO_2^- и Pb. В целом, состояние речных вод оценивается как неудовлетворительное вследствие превышения нормативов качества для Pb более чем в 5 раз, а также Al – более чем в 2 раза и As – более чем в 1,5 раза, что, судя по размещению горнообогатительных фабрик и разрабатываемых месторождений (рис. 1). Водные вытяжки из донных отложений рек, как и речные воды, пресные, гидрокарбонатные кальциевые третьего типа, но характеризуются более высоким содержанием органических веществ, соответствующим водам с повышенной перманганатной окисляемостью. Подземные и поверхностные воды повсеместно способны растворять первичные алюмосиликаты с образованием глинистых минералов и пересыщены относительно кварца, что характерно для гидрогеохимических условий тропических областей [Фридланд, 1964; Shvartsev, 2008]. Пересыщение относительно карбонатных минералов отмечено для водосбора реки Бантхи и верховий реки Дай.

Наиболее значительные превышения фоновых концентраций, соответствующие, согласно [Головин и др., 2002], «сильному» уровню загрязнения, отмечены в подземных водах четвертичных отложений в районе Бангланга (N1605), примерно в 0,3 км от ближайшего тектонического нарушения и в 9,2 км – от горнообогатительной фабрики в водосборе реки Дай (табл. 1, 2). Превышения фоновых концентраций Pb, Zn, Cd, Ag, Hg, As и ряда других элементов как в речных водах, так и в водных вытяжках из донных отложений в большинстве случаев отмечены в истоках рек Бан Тхи (пункт M1603, рис. 1, табл. 2) и Дай (пункт M1611, табл. 1, 3), особенно вблизи горно-обогатительных фабрик, где индекс комплексного превышения геохимического фона Z составляет для речных вод 26,1 и 82,7, а для донных отложений – 54,4 и 13,0 соответственно.

Таблица 1. Статистические параметры химического состава речных вод и водных вытяжек из донных отложений в междуречье рек Ло и Кау в 2015–2016 гг.

Показатель	Единицы измер.	Подземные воды			Речные воды			Единицы измер.	Водная вытяжка из донных отложений		
		C_G	C_{GUP}	C_{max}	C_G	C_{GUP}	C_{max}		C_G	C_{GUP}	C_{max}
pH	ед. pH	7,01	7,31	7,42	7,65	7,81	8,03	ед. pH	7,70	7,87	8,00
Σ_{mi}	мг/дм ³	281,3	413,0	393,4	218,4	300,9	335,7	мг/кг	661,8	883,4	1922,4
Ca ²⁺	то же	57,7	98,3	89,5	44,6	69,5	83,2	мг/кг	183,3	257,5	540,0
Mg ²⁺	–/–	6,5	8,3	10	5,0	5,9	7,3	мг/кг	5,9	7,9	23,5
Na ⁺	–/–	4,2	6,9	8,83	2,0	2,9	4,1	мг/кг	5,0	7,6	9,4
K ⁺	–/–	1,7	2,5	3,4	1,3	1,9	3,5	мг/кг	25,5	34,0	61,0
HCO ₃ ⁻	–/–	196,1	285,7	276	150,9	209,5	238,0	мг/кг	320,2	387,1	415,0
SO ₄ ²⁻	–/–	4,8	12,4	14,4	8,8	12,9	26,2	мг/кг	104,3	225,9	870,0
Cl ⁻	–/–	3,7	5,6	19,5	1,4	1,6	2,0	мг/кг	3,0	4,5	6,5
NO ₃ ⁻	–/–	3,324	17,040	26,1	1,716	2,583	4,340	мг/кг	0,250	0,250	2,000
NO ₂ ⁻	–/–	0,010	0,010	0,021	0,017	0,026	0,500	мг/кг	0,541	0,934	2,500
NH ₄ ⁺	–/–	0,062	0,158	0,24	0,060	0,111	0,210	мг/кг	12,769	31,284	39,000
PO ₄ ³⁻	–/–	0,035	0,060	0,127	0,025	0,025	0,080	мг/кг	0,554	1,560	6,100
P	–/–	0,050	0,050	0,050	0,006	0,015	0,050	мг/кг	0,317878	0,479356	0,630000
Si	–/–	7,86	15,02	25,00	6,05	7,50	11,29	мг/кг	10,93	13,69	15,56
Fe	–/–	0,060	0,089	0,130	0,127	0,172	0,662	мг/кг	2,144	3,891	12,540
Al	–/–	0,0036	0,0569	1,050	0,0308	0,0784	0,4640	мг/кг	0,8598	2,0086	3,0300
ПО	мгО ₂ /дм ³	0,14	0,22	0,50	0,42	0,64	1,13	мг/кг	188,56	325,15	460,00
БО	то же	2,22	5,24	5,30	3,83	5,64	8,20	мг/кг	355,86	402,16	400,50
Li	мкг/дм ³	1,338	5,342	3,754	0,970	1,596	1,882	мг/кг	0,00402	0,00610	0,00630
Ti	то же	0,269	0,586	0,539	0,341	0,539	0,808	мг/кг	0,01214	0,02603	0,11000
Mn	–/–	3,23	65,99	480,99	31,154	55,811	73,942	мг/кг	3,92434	11,09017	17,32000
Ni	–/–	0,12	0,78	3,30	0,032	0,046	0,771	мг/кг	0,02211	0,03764	0,04400

Показатель	Единицы измер.	Подземные воды			Речные воды			Единицы измер.	Водная вытяжка из донных отложений		
		C_G	C_{GUP}	C_{max}	C_G	C_{GUP}	C_{max}		C_G	C_{GUP}	C_{max}
Cu	--/–	1,78	6,33	62,00	0,978	1,623	2,495	мг/кг	0,08822	0,12628	0,34000
Zn	--/–	14,82	45,51	92,00	13,08	34,07	140,00	мг/кг	0,14037	0,63410	3,69000
As	--/–	0,251	2,662	7,495	3,556	8,193	17,855	мг/кг	0,04689	0,09869	0,72000
Se	--/–	0,231	0,691	0,500	0,304	0,537	0,786	мг/кг	0,00700	0,01358	0,02200
Cd	--/–	0,042	0,106	0,350	0,0513	0,0907	0,4974	мг/кг	0,001183	0,003699	0,019000
Cs	--/–	0,097	0,399	0,948	0,0882	0,1663	0,7699	мг/кг	0,00141	0,00215	0,00280
Ba	--/–	10,490	41,788	38,126	20,405	31,533	33,640	мг/кг	0,13062	0,22263	0,73000
La	--/–	0,010	0,016	0,150	0,0800	0,1892	0,2452	мг/кг	0,003007	0,004181	0,012000
Ce	--/–	0,007	0,017	0,017	0,1503	0,3437	0,5006	мг/кг	0,010232	0,017224	0,027000
Sm	--/–	0,000	0,000	0,020	0,0112	0,0297	0,0417	мг/кг	0,000804	0,001432	0,002300
Eu	--/–	0,001	0,003	0,008	0,0051	0,0083	0,0096	мг/кг	0,000165	0,000233	0,000660
Lu	--/–	0,001	0,002	0,002	0,0007	0,0016	0,0025	мг/кг	0,000047	0,000085	0,000140
Pb	--/–	0,28	1,08	1,20	2,490	5,024	58,690	мг/кг	0,158401	0,571616	4,070000

Примечание: Σ_{mi} – сумма главных ионов; ПО и БО – перманганатная и бихроматная окисляемость; C_G – среднее геометрическое; C_{GUP} – верхний предел погрешности определения среднего геометрического по формуле (1)

Таблица 2. Геохимические аномалии в подземных водах в междуречье рек Ло и Кау

Номер пробы	Пункт	Возраст водоносных отложений	Глубина отбора пробы, м	$L(r-min)$, км	$L(\Phi)$, км	Вещества и кратность превышения фоновых концентраций:
NN01	Бан Тхи	aQ	7,5	0,8	1,5	Z=1
NN02	Бан Тхи	D ₁₋₂	30,0	0,3	2,0	ПО 2,3; NO ₂ ⁻ 2,1; Z=3,4
NN03	Нгиа Та	D ₁₋₂	16,0	2,4	10,5	Al 18,5; Cu 2,2; Z=19,7
NN05	Иэен Нхуан	D ₁₋₂	13,0	1,4	11,6	PO ₄ ³⁻ 2,1; Z=2,1
NN06	Нам Кыонг	D ₁₋₂	41,0			Cu 9,8; Cd 3,3; Z=13,1

Номер пробы	Пункт	Возраст водоносных отложений	Глубина отбора пробы, м	$L(r-min)$, км	$L(\Phi)$, км	Вещества и кратность превышения фоновых концентраций:
N1601	Хоптень	D ₁₋₂	30,0	(0,04)	0,9	Sb 10,3; As 2,8; Z=13,1
N1602	Фокау	D ₁₋₂	22,0	3,3	4,6	Z=1
N1603	Вангкуан	D ₁₋₂	30,0	0,5	14,0	Mn 7,3; Co 2,8; Cs 2,4; Cl 2,4; Z=14,9
N1604	Банлас	D ₁₋₂	22,0	3,5	11,9	Sm 9,0; Ni 4,2; Z=13,2
N1605	Бангланг	Q	10,0	0,3	9,2	Sm 80,3; Ag 14,3; La 9,5; Cl 3,5; Eu 2,8; Z=110,4

Примечание: Z – индекс геохимического состояния компонента окружающей среды по формуле (2); $L(r-min)$ – минимальное расстояние от пункта отбора пробы до тектонических нарушений; $L(\Phi)$ – расстояние до ближайшей горнообогатительной фабрики

Таблица 3. Геохимические аномалии в речных водах и водных вытяжках донных отложений в междуречье рек Ло и Кау

Номер пробы	Река	Расстояние от истока, км	Вещества и кратность превышения фоновых концентраций в:	
			речных водах	водных вытяжках из донных отложений
M1604	Бан Тхи	3,7	Ag 3,2; Z=3,2	Zn 3,2; Pb 2,5; Fe 3,2; As 7,3; Cd 2,2; Sn 2,1; La 2,9; Eu 2,8; Z=24,9
M1603	Бан Тхи	7,8	Zn 2,2; Pb 2,4; NO ₂ ⁻ 19,0; Ag 2,1; Cd 4,4; Z=26,1	Zn 2,7; Pb 7,1; Cu 2,7; As 2,4; Ag 23,0; Au 2,3; Hg 5,5; Cd 5,1; Sn 3,7; La 2,1; Yb 2,5; Z=54,4
M1602	Бан Тхи	9,0	Zn 2,1; Z=2,1	Zn 2,4; Pb 2,7; Ag 7,8; Z=10,9
M1601	Бан Тхи	13,14	Z=1	NO ₂ ⁻ 2,7; Hg 2,1; Z=3,8
M1605	Ченгу	8,0	Z=1	NO ₂ ⁻ 8,0; Z=8,0
M1611	Дай	16,1	Zn 2,6; Pb 11,7; SO ₄ ²⁻ 2,0; P 3,2; Ni 16,8; As 2,2; Ag 6,4; Cd 5,5; Bi 37,6; Z=82,7	Σ_{mi} 2,2; Ca ²⁺ 2,1; Mg ²⁺ 3,0; SO ₄ ²⁻ 3,9; Ba 3,3; Rb 2,4; Sr 2,2; Z=13,0
M1609	Дай	29,6	Z=1	Ba 2,0; Hg 11,6; Z=12,6
M1607	Дай	41,7	Fe 2,1; Z=2,1	Co 3,0; Z=3,0
M1610	Намду	11,3	Sb 2,1; Z=2,1	Ag 4,9; Z=4,9
M1606	Фо Дай	32,9	Fe 3,9; Co 2,1; Z=5,0	Ti 4,2; Z=4,2

Примечание: Z – индекс геохимического состояния компонента окружающей среды по формуле (2)

Это в первом приближении позволяет связать выявленные высокие значения геохимических показателей с добычей свинцово-цинковых руд. Так, двукратное превышение величины C_{GUP} в феврале 2016 г. на реке Бан Тхи наблюдалось по содержанию Zn и Pb примерно в 1 км ниже по течению от фабрики, а на реке Дай – на участке от 3 до 12 км (по содержанию Zn и Pb, соответственно).

Следует отметить, что, по сравнению с речными водами, для донных отложений характерно более неравномерное распределение концентраций микроэлементов по длине рек. В водных вытяжках из донных отложений обнаружены повышенные концентрации Zn, Pb, Fe, Co, Ti, As, Cd, Sn, Ag, Rb, Sr, Hg, Ba, La, Eu, Yb, NO_2^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , а уровень накопления веществ относительно геохимического фона вблизи горно-обогачительных фабрик соответствует слабо и сильно загрязнённым донным отложениям. Ниже по течению от фабрик донные отложения соответствуют минимальному уровню загрязнения (табл. 3). Речные воды вблизи источников загрязнения содержат повышенные (по сравнению с геохимическим фоном) концентрации Zn, Pb, Fe, Ni, Co, As, Bi, Cd, Cs, Sb, Ag, NO_2^- , SO_4^{2-} и оцениваются как средне и сильно загрязнённые, а в прочих пунктах – минимально загрязнённые.

На основе анализа результатов исследования и указанных фактов и сформулировано первое защищаемое положение.

Второе защищаемое положение

Превышение геохимического фона и нормативов качества воды связано с влиянием комплекса природных и антропогенных факторов. Наиболее значимое влияние добычи и обогащения свинцово-цинковых руд на состояние подземных и поверхностных водных объектов в междуречье рек Ло и Кау наблюдается на участках до 4,5–5,0 км от источника загрязнения, максимальная протяжённость загрязнённых участков – до 11–12 км.

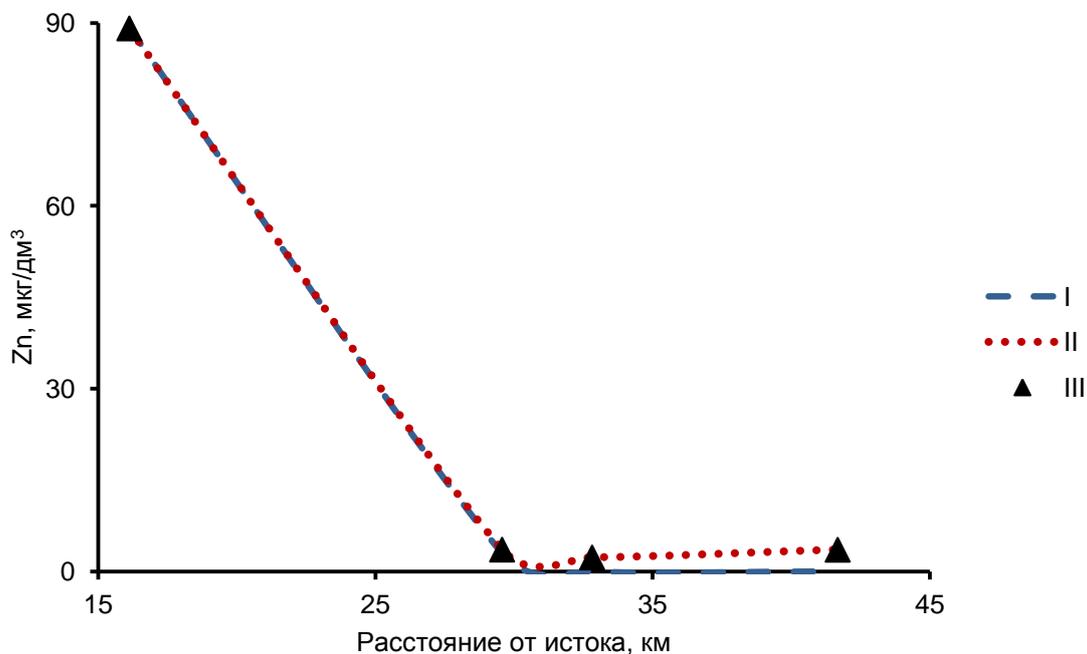
Статистический и геоинформационный анализ полученных данных показал, что повышенные (относительно регионального геохимического фона и нормативов качества) концентрации Zn, Pb и ряда других химических элементов в подземных и речных водах и донных отложениях рек в ряде случаев наблюдаются на участках, расположенных на удалении до 4,5–5 км от горнообогатительных фабрик. Для более детального изучения влияния горной промышленности была рассмотрена модель распространения загрязняющих веществ в водном потоке в виде:

$$C = \frac{k_S}{k_C} \cdot S + \left(C_0 - \frac{k_S}{k_C} \cdot S \right) \cdot \exp \left(x \cdot \frac{v}{2 \cdot D} \cdot \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4 \cdot k_C \cdot D}{v^2}} \right) \right), \quad (5)$$

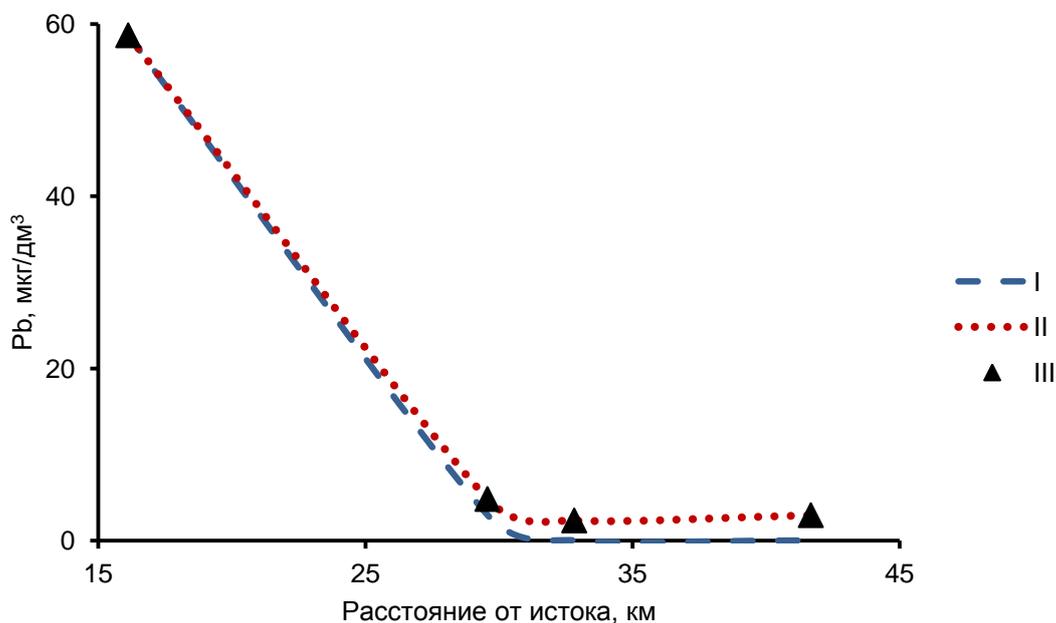
где C и C_0 – концентрация вещества в речной воде на расстоянии x от источника загрязнения и в створе выпуска сточных вод; S – концентрация вещества в водной вытяжке из донных отложений; v – средняя скорость течения; D – коэффициент гидродисперсии; k_C и k_S – удельные скорости изменения концентраций вещества в речной воде и донных отложениях, соответственно. Концентрации веществ (в мг/дм³), скорости течения и

глубины рек приняты по данным наблюдений в феврале 2016 г., значения k_C и k_S определялись подбором для каждого расчётного створа, а значения D рассчитаны согласно [Караушев, 1969].

Анализ результатов моделирования и их сопоставление с данными наблюдений, во-первых, подтвердил возможность использования модели (5) для расчёта изменений концентраций Zn и Pb (рис. 2).



a)



b)

Рисунок 2 – Вычисленные и измеренные концентрации Zn (a) и Pb (b) в водах р. Дай в феврале 2016 г.: I – расчёт по модели (5) при постоянном значении k_C для створа 4,9 км от истока; II – расчёт по модели (5) при переменных значениях k_C ; III – измеренные значения.

Во-вторых, выявлена зависимость (6), интерпретируемая с учётом [White, 1995] как функция связи между k_C и площадью контакта воды и твёрдых частиц A :

$$k_C = k_{C,0} \cdot \left(\frac{Q}{F}\right)^{k_1} \cdot \left(\frac{k_M \cdot k_{Ch}}{v^2}\right)^{k_2} = k_{C,0} \cdot A, \quad (6)$$

где Q – расход воды; F – площадь водосбора; $k_{C,0}$ – удельная скорость изменения концентрации вещества в речной воде при отсутствии течения; k_1 , k_2 – коэффициенты. В-третьих, с помощью (5) получена более точная оценка влияния горно-обогатительных фабрик на состояние исследуемых рек. Так, в водах реки Бан Тхи снижение концентраций Zn до уровня $2 \cdot C_{GUP}$ достигается на участке длиной около 4,2–4,5 км, снижение концентраций Pb при изменении площади контакта воды с твёрдыми частицами – в 3,3 км от источника загрязнения, а при постоянной площади – 11,3 км. В водах реки Дай снижение концентраций Zn до уровня $2 \cdot C_{GUP}$ наблюдается в 3,2–3,3 км от источника загрязнения, снижение Pb – в 11,2–12,2 км.

Необходимо отметить, что наличие горнодобывающей промышленности по определению приурочено к природным геохимическим аномалиям. Соответственно, геохимические аномалии в речных водах и донных отложениях рассматриваемой территории могут рассматриваться как природно-антропогенные, о чём свидетельствуют, во-первых, превышение местного геохимического фона в пункте M1604 на реке Бан Тхи, расположенном в 1,2–1,4 км выше по течению от горно-обогатительной фабрики. Во-вторых, концентрации ряда веществ в речных водах и донных отложениях и на участках с явно выраженным антропогенным влиянием, и за их пределами подчиняются общим закономерностям распространения веществ в водных потоках (в речных водах и, особенно, в донных отложениях; рис. 3), которые при определенных допущениях могут быть ориентировочно описаны уравнением (4).

Снижение концентраций Zn, Pb и ряда других химических элементов в водах рек Дай и Бан Тхи ниже по течению от рудников и горно-обогатительных фабрик, согласно [Крайнов, Рыженко, Швец, 2004], связано с комплексом процессов взаимодействия речных вод с донными отложениями и речными наносами, в том числе с осаждением малорастворимых соединений тяжёлых металлов и их соосаждением с гипергенными новообразованиями.

Подтверждением этому служат результаты апробации модели (5) и термодинамических расчётов. Первые свидетельствуют о связях концентраций веществ в речных водах с содержаниями в донных отложениях и гидравлическими параметрами, а вторые – о потенциальной способности речных вод растворять первичные алюмосиликаты с образованием глинистых минералов и пересыщении вод относительно кварца, соединений кальция и магния с гуминовыми кислотами. При этом необходимо отметить, что воды рек Дай и Бан Тхи в целом ближе к равновесию или более

пересыщены относительно карбонатных минералов, чем воды других изученных рек с меньшей антропогенной нагрузкой.

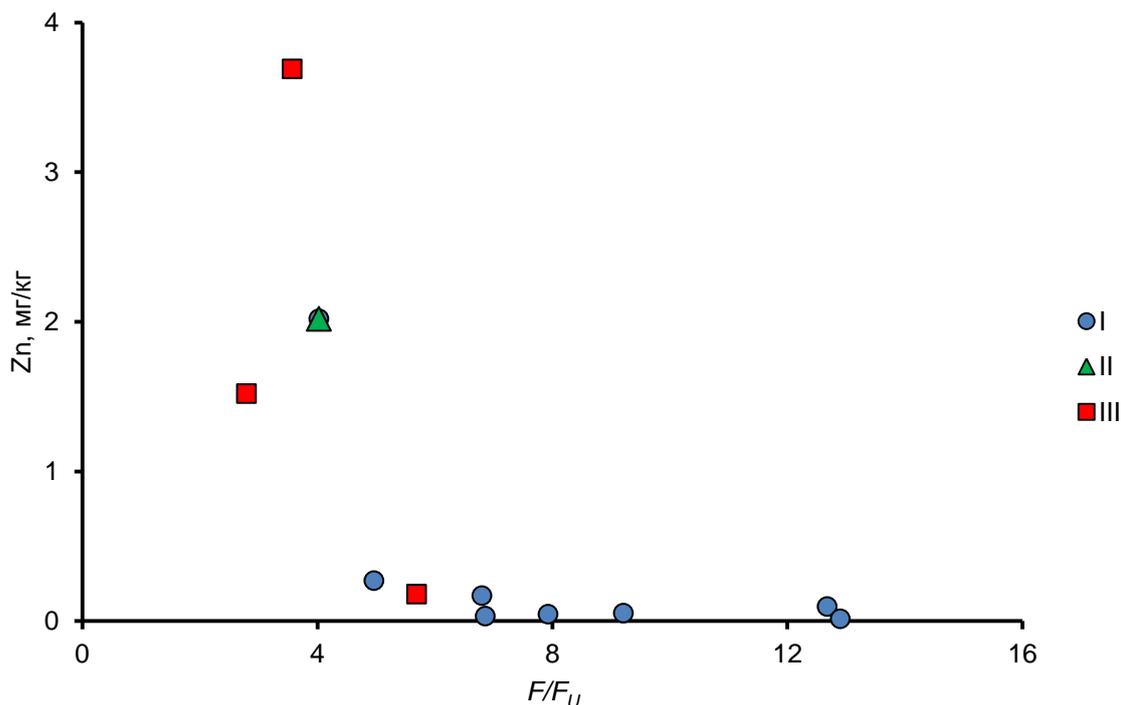


Рисунок 3 – Зависимость между содержанием Zn в водной вытяжке донных отложений и соотношением F/F_U ; F – площадь водосбора; F_U – площадь водосборной территории в верховьях реки без выраженной русловой сети; концентрации Zn в створах: I – без явно выраженного антропогенного влияния; II – в 1,2 км выше по течению от горно-обогатительной фабрики; III – на участках влияния горно-обогатительных фабрик

В целом, на основе анализа данных наблюдений и результатов моделирования сформулировано второе защищаемое положение.

Третье защищаемое положение

Вероятность обнаружения аномальных концентраций Pb и Zn в донных отложениях и речных водах в междуречье рек Ло и Кау возрастает при условии, что показатель сопряжённости речной сети и тектонических нарушений $P(r|f)$ более $0,6 \text{ км/км}^2$, а соотношение площади водосбора и его верхней части без выраженной русловой сети F/F_U менее 6–7.

Один из ключевых факторов формирования химического состава природных и природно-антропогенных вод – интенсивность водообмена, регулирующая время и условия взаимодействий в системе «вода–порода» [Шварцев, 1998; Геологическая..., 2005; Крайнов, Рыженко, Швец, 2004]. Анализ полученных данных позволил выявить статистически значимые связи между условной вероятностью приуроченности речной сети к тектоническим нарушениям $P(r|f)$ и концентрациями веществ в речных водах и донных отложениях (рис. 4), причём также обнаружена связь между условной

вероятностью $P(r|f)$ и эмпирической вероятностью концентраций. Удовлетворительная сходимость измеренных и расчётных концентраций Zn и Pb в речных водах и донных отложениях достигнута и при использовании зависимости (4) как для случаев, когда $Y_0 \approx Y$, так и для расчётных значений Y_0 (рис. 3, 5).

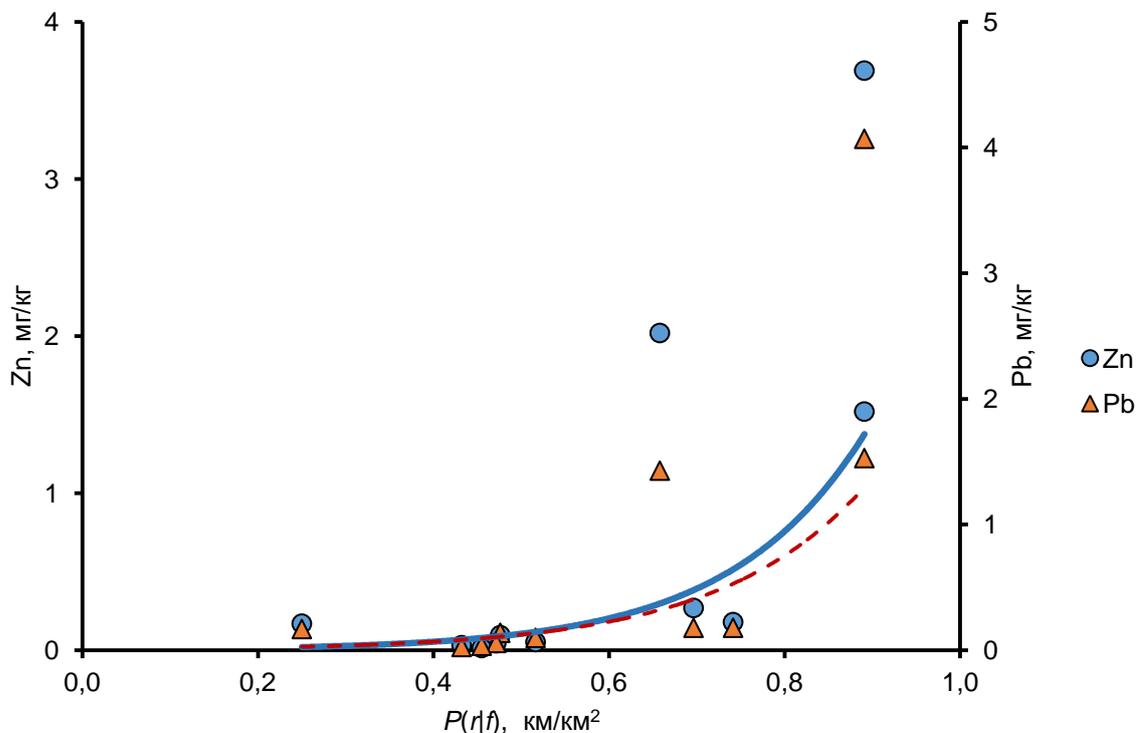


Рис. 4. Зависимость между условной вероятностью $P(r|f)$ и содержаниями Zn и Pb в водных вытяжках из донных отложений малых рек; линии тренда: сплошная линия синего цвета – $Zn=0,00393 \cdot \exp(6,57655 \cdot P(r|f))$, $R^2=0,55$; пунктир коричневого цвета – $Pb=0,00626 \cdot \exp(5,98780 \cdot P(r|f))$, $R^2=0,57$

В последнем случае получены более точные оценки, но использование этого способа возможно только при наличии не менее двух измерений расходов воды на исследуемой реке. В целом на территориях водосборов изученных рек, где ведётся добыча свинцово-цинковых руд, пункты с повышенными концентрациями Zn, Pb и некоторых других элементов приурочены, с одной стороны, к участкам совмещения речной сети, часть водотоков которых приурочено к тектоническим нарушениям, контролирующим размещение свинцово-цинковых проявлений и месторождений, что объясняется усилением выноса химических элементов из рудных тел. С другой стороны, повышение концентраций этих элементов относительно локального геохимического фона в целом тем выше, чем обширнее слабо дренируемая площадь водосбора в районе проявлений и чем ближе аномалия находится от предприятий по добыче и переработки руд.

Выявленные зависимости удовлетворительно описывают распределение химических элементов в водных объектах на разном удалении от

предприятий по добыче и обогащению свинцово-цинковых руд. Так, изъятие из выборки значений, полученных вблизи от горно-обогатительных фабрик (NM03, NM05_a, M1603, M1611) не привело к изменению условия $R^2 > 0,36$ и формы линии связи. Коэффициенты корреляции между условной вероятностью $P(r|f)$ и содержанием составляют для:

1) Zn в речных водах – по полной выборке $0,73 \pm 0,16$, для сокращённой $0,73 \pm 0,12$;

2) Zn в водных вытяжках из донных отложений – по полной выборке $0,70 \pm 0,16$, для сокращённой $0,68 \pm 0,18$;

3) Pb в речных водах – по полной выборке $0,44 \pm 0,18$, для сокращённой $0,74 \pm 0,11$;

4) Pb в водных вытяжках из донных отложений – по полной выборке $0,69 \pm 0,16$, для сокращённой $0,74 \pm 0,18$.

Основное отличие заключается, главным образом, в более высоких значениях вблизи предприятий.

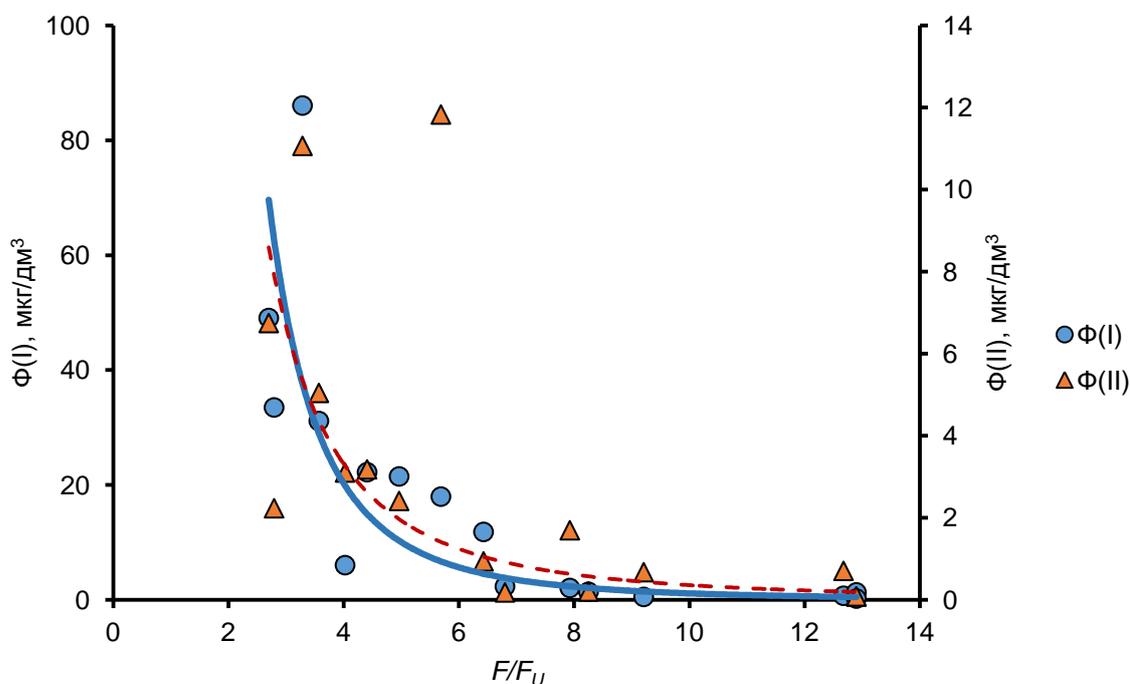


Рисунок 5 – Зависимость между функциями содержаний $C(\text{Zn})$ и $C(\text{Pb})$ в речных водах и соотношением площадей F/F_U ; линии тренда: сплошная линия синего цвета – $\Phi(I) = C(\text{Zn}) \cdot Y/Y_U = 1575,540 \cdot (F/F_U)^{-3,140}$, $R^2 = 0,83$; пунктир коричневого цвета $\Phi(I) = C(\text{Pb}) \cdot Y/Y_U = 95,211 \cdot (F/F_U)^{-2,422}$, $R^2 = 0,63$

В целом, на основе анализа данных наблюдений и результатов математического моделирования гидрогеохимических процессов сформулировано третье защищаемое положение.

Заключение

На основе данных геохимических исследований, выполненных в 2010–2016 гг., получена общая характеристика подземных вод, речных вод и отложений в междуречье рек Ло и Кау. Показано, что, во-первых, эколого-геохимическое состояние поверхностных водных объектов в районах добычи свинцово-цинковых руд в междуречье рек Ло и Кау характеризуется как неудовлетворительное вследствие повышенных содержаний Pb, As, Al, в ряде случаев – Zn, Fe, Cd, Hg, Au, Bi, Ag, редкоземельных элементов, NO₂⁻. Состояние подземных вод в целом удовлетворительное.

Во-вторых, установлено, что превышение геохимического фона и нормативов качества связано с влиянием сочетания природных и антропогенных факторов. Наиболее значимое влияние добычи и обогащения свинцово-цинковых руд на состояние подземных и поверхностных водных объектов в междуречье рек Ло и Кау прослеживается на участках до 4,5–5,0 км от источника загрязнения, максимально – до 11–12 км.

В-третьих, показано, что вероятность обнаружения аномальных концентраций Pb и Zn в междуречье рек Ло и Кау значительно возрастает при условии, что показатель $P(r/f)$ более 0,6 км/км², а F/F_0 менее 6–7. Использование этих показателей возможно при изучении малых рек с разной степенью антропогенной нагрузки.

С учётом полученных результатов на рассматриваемой территории в уезде Чодонь провинции Баккан СРВ целесообразно проведение следующих мероприятий: 1) вынесение и/или организация источников водоснабжения из зоны с радиусом до 4,5–5 км от горнообогатительных фабрик; 2) оптимизация государственной наблюдательной сети при проведении экологического мониторинга на реках и подземных водах с обязательным размещением не менее двух пунктов наблюдений на участке 5 км от источника загрязнения; 3) проектирование и строительство у горнообогатительных фабрик дополнительных прудов-накопителей для осаждения взвешенных веществ и соосаждения химических элементов.

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации (в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ)

1. Савичев, О.Г. Гидроэкологическое состояние междуречья рек Гам и Кау (Северный Вьетнам) / О.Г. Савичев, В.Л. Нгуен // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326. – №7, С. 96–103.
2. Савичев, О.Г. О методике определения фоновых и аномальных значениях гидрохимических показателей / О.Г. Савичев, В.Л. Нгуен // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326. – №9, С. 133–142.
3. Савичев, О.Г. Химический состав и качество подземных вод в междуречье рек Гам и Кау (Северный Вьетнам) / О.Г. Савичев, В.Л. Нгуен // Вестник Томского гос. ун-та. – 2015. – № 398. – С.251–256.

Публикации в других научных изданиях

4. Nguyen, V. L. Distribution and dispersion the elements in the natural water area Cho Don district Bac Kan, Viet Nam / V.L. Nguyen, O.G. Savichev, D.T. Quach, D.N. Do // Journal of Science of the Ho Chi Minh City University. – 2015. – N 9 (75). – pp. 130–139. – in Vietnamese.
5. Нгуен, В.Л. Общая характеристика геохимического состояния подземных вод в уезде Чодонь, провинция Баккан, Вьетнам / В.Л. Нгуен, Д.Т. Куач, Д.Х. Чан // Вопросы естествознания. – 2015. – № 3 (7). – С. 129–133.
6. Nguyen, V.L. Water environmental geochemistry in lead-zinc area, Cho Don, Bac Kan province / V.L. Nguyen, O.G. Savichev, D.T. Quach // Geology and Resources Vietnam. Publisher of Natural Sciences and Technology in Hanoi. – 2015. pp 273-281. – in Vietnamese.
7. Нгуен, В.Л. Гидрогеохимическая характеристика поверхностных вод горнодобывающего района в уезде Чодонь, провинции Баккан, Вьетнам // Сборник статей XI Большого Географического фестиваля. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет, 2015. – С. 407–413.
8. Нгуен, В.Л. Морфометрические, геологические и гидрологические характеристики исследуемых водотоков в уезде Чодонь провинции Баккан // Сборник материалов Всероссийской молодежной геологической конференции. – Уфа: Институт геологии Уфимского научного центра Российской академии наук, 2015. – С. 139–141.
9. Нгуен, В.Л. Химический состав поверхностных вод в уезде Чодонь провинции Баккан // Материалы XXVI молодежной научной школы-конференции, посвящённой памяти члена-корреспондента АН СССР К.О. Кратца и академика РАН Ф.П. Митрофанова. – Петрозаводск: Институт геологии карельского научного центра РАН, 2015. – С. 137–139
10. Нгуен, В.Л. Распределения мышьяка в природной воде уезд Чодонь, провинция Баккан, Вьетнам // Материалы XXVI молодежной научной школы-конференции, посвящённой памяти члена-корреспондента АН СССР К.О. Кратца и академика РАН Ф.П. Митрофанова. – Петрозаводск: Институт геологии карельского научного центра РАН, 2015. – С. 137-139.
11. Нгуен, В.Л. Гидрогеохимические условия в уезде Чодонь (северный Вьетнам, провинция Баккан) // Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Евразии». – Томск: Томский политехнический университет, 2015. – С. 728–733.
12. Нгуен, В.Л. Гидрогеохимическая характеристика подземных вод в уезде Чодонь, провинции Баккан (Вьетнам) // Труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета». – Томск: Томский политехнический университет, 2016. – С. 196–198.
13. Нгуен, В.Л. Физико-химические и геохимические показатели подземных вод в уезде Чодонь провинции Баккан (северный Вьетнам) / В.Л. Нгуен,

- Х.Т. Фи // Сборник материалов IV Всероссийская молодежная геологическая конференция. – Уфа: Институт геологии Уфимского научного центра, 2016. – С. 347–352.
14. Nguyen, V.L. Ecological and geochemical condition of river water and groundwater in the area between the rivers Gam, Lo and Cau (Cho Don district, Bac Kan Province, Vietnam) / V.L. Nguyen, D.T. Quach, O.G. Savichev // International conferences on Earth sciences and sustainable Geo-Resources development – ESASGD: Hanoi University of mining and geology, 2016. – P. 118. In Vietnamese.