

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования «Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет»**

**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)**

**Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук**

**Научный руководитель  
д.г.н., проф. Савичев О.Г.**

**Томск – 2016**

## Содержание

Введение .....	3
1. Изученность эколого-геохимического состояния водных объектов на севере Вьетнама .....	8
1.1. Терминология и общая постановка проблемы изучения эколого-геохимического состояния водных объектов в зоне гипергенеза .....	8
1.2. Изученность геоэкологического состояния природно-техногенных комплексов в северной части Вьетнама .....	11
2. Объекты и методика исследования .....	14
3. Условия формирования эколого-геохимического состояния водных объектов в уезде Чодонь провинции Баккан .....	24
3.1. Геоморфологические и геологические условия .....	24
3.2. Климатические условия .....	27
3.3. Гидрологические условия .....	29
3.4. Гидрогеологические условия .....	34
3.4.1. Водоносный горизонт в отложениях четвертичного возраста (Q) .....	34
3.4.2. Водоносный комплекс в отложениях формации Кок Со (D <sub>1</sub> -D <sub>2e</sub> сх) .....	35
3.4.3. Водоносный комплекс в отложениях формации Фу Нгы (o- <i>spn</i> ) .....	35
3.4.4. Водоносный горизонт в магматических образованиях .....	36
3.5. Растительный и почвенный покров .....	36
3.6. Хозяйственная и природоохранная деятельность .....	38
4. Общая характеристика эколого-геохимического состояния водных объектов в уезде Чодонь провинции Баккан .....	54
4.1. Подземные воды .....	54
4.2. Поверхностные воды .....	69
4.3. Донные отложения .....	84
4.4. Фоновые и аномальные значения геохимических показателей подземных и речных вод, донных отложений рек. Общая оценка состояния водных объектов .....	88
5. Анализ условий формирования эколого-геохимического состояния водных объектов в уезде Чодонь провинции Баккан .....	99
5.1. Влияние горнообогатительных фабрик на химический состав вод и донных отложений .....	99
5.2. Влияние водообмена и геологических условий на химический состав подземных и речных вод, донных отложений рек .....	104
Выводы .....	108
Список литературы .....	109

## Введение

**Актуальность темы исследования.** Исследование эколого-геохимического состояния водных объектов зоны гипергенеза 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 [Данилов-Данильян, Лосев, 2006].

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 Бантхи (приток реки Гам, впадающей в реку Ло); несколько меньше объём добычи в водосборах рек Та Диенг (река, впадающая в озеро Бабе) 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 (мас-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, включая Pb, Zn, Cd, As и редкоземельные элементы 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,  $\text{NO}_2^-$ . Состояние подземных вод в целом удовлетворительное.

2. Превышение геохимического фона и нормативов качества 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 Российской Федерации; 3) апробацией результатов исследования в процессе публикаций в рецензируемых научных журналах («Известия Томского политехнического университета», «Вестник Томского государственного университета») 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 Российской Федерации.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации:

1) опубликованы в трёх статьях в рецензируемых журналах из перечня ВАК (четвёртая статья принята к печати в журнале «Геоинформатика»):

Савичев О.Г., Нгуен В.Л. Гидроэкологическое состояние междуречья рек Гам и Кау (Северный Вьетнам) // Известия Томского политехнического университета. – 2015а. – Т. 326. – №7, С. 96-103.

Савичев О.Г., Нгуен В.Л. О методике определения фоновых и аномальных значениях гидрохимических показателей // Известия Томского политехнического университета. – 2015b. – Т. 326. – №9, С. 133-142.

Савичев О.Г., Нгуен В.Л. Химический состав и качество подземных вод в междуречье рек Гам и Кау (Северный Вьетнам) // Вестник Томского гос. ун-та. – 2015с. – № 398. – С.251-256.

Савичев О.Г., Нгуен В.Л., Домаренко В.А. Использование гидрологических показателей при выявлении геохимических аномалий в междуречье рек Гам и Кау (Вьетнам) // Геоинформатика, 2017, принято к печати.

2) в иных журналах и сборниках:

Nguyen Van Luyen, Savichev Oleg G., Quach Duc Tin. Distribution and dispersion the elements in the natural water area Cho Don district Bac Kan, Viet Nam // Ho Chi Minh City University of education Journal of Science. Special issue: Natural Sciences and Technology. -2015. - N 9(75) pp. 130 - 139. – in Vietnamese.

Nguyen Van Luyen, Savichev Oleg G., Quach Duc Tin. Water environmental geochemistry in lead-zinc area, Cho Don, Bac Kan province // Geology and Resources Vietnam. Publisher of Natural Sciences and Technology in Hanoi. – 2015. pp 273-281. – in Vietnamese.

3) 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.) и ряде других научных мероприятий.

**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 проф., 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. Хващевской 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.

# **1. Изученность эколого-геохимического состояния водных объектов на севере Вьетнама**

## **1.1. Терминология и общая постановка проблемы изучения эколого-геохимического состояния водных объектов в зоне гипергенеза**

Объектами исследования являются водные объекты в зоне гипергенеза. При этом под водным объектом, согласно [ГОСТ 19179-73], понимается сосредоточение природных вод на поверхности суши или в горных породах, имеющее характерные формы распространения и черты режима – совокупности закономерно повторяющихся изменений состояния, присущих этому водному объекту, а под гипергенезом, в соответствии с [Словарь по гидрогеологии..., 1971; Словарь геологических..., 1995], – совокупность процессов физического и химического преобразования вещества в верхних частях земной коры и на её поверхности при взаимодействии био-, атмо- и гидро- и литосферы.

Согласно [Водный кодекс РФ, ст. 5], водные объекты подразделяются на подземные и поверхностные; к первым относятся бассейны подземных вод и водоносные горизонты, а ко вторым – моря или их отдельные части, водотоки (каналы и реки), водоёмы (озёра, водохранилища, обводненные карьеры), болота, природные выходы подземных вод (родники, гейзеры), ледники, снежники, причём поверхностные водные объекты состоят из поверхностных вод и покрытых ими земель в пределах береговой линии, определяемой по среднемноголетнему уровню воды в период, когда нет льда.

Меньше определённости при установлении нижней границы поверхностных водных объектов, которая одновременно является верхней границей недр – части земной коры, простирающейся до глубин, доступных для геологического изучения и освоения [О недрах, 1995]. Так, согласно [ГОСТ 19179-73], один из видов поверхностных водных объектов – река – представляет собой водоток, питающийся атмосферными осадками со своего водосбора и имеющий четко выраженное русло – выработанное речным потоком ложе, по которому осуществляется сток без затопления поймы. Речное русло и пойму формируют донные наносы, постоянно находящиеся во взаимодействии с водными массами, но, в то же время, относящиеся, согласно [ГОСТ 25100-2011; Методические рекомендации..., 2000], к грунтам – многокомпонентным динамическим системам, являющимся частью геологической среды – части недр, в пределах которой протекают процессы, влияющие на социальные и экологические системы.



По своей сути рассматриваемая работа относится к геохимическим и геоэкологическим исследованиям. Согласно [ГОСТ Р 53795-2010], под геохимическими исследованиями понимается изучение законов миграции и распределения атомов химических элементов в литосфере, гидросфере, атмосфере и биосфере, включающее в том числе литогеохимические и гидрогеохимические работы, а под геоэкологическими – комплекс геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических, эколого-геохимических, геофизических исследований с целью изучения состояния окружающей среды. В свою очередь, литогеохимические исследования – это работы по изучению аномальных геохимических полей, химических элементов и их соединений, вторичных изменения химического состава и свойств пород, грунтов, почв и минеральных новообразований, гидрогеохимические исследования – работы по изучению аномальных гидрогеохимических полей, миграции химических элементов и их соединений, вторичных преобразований состава вод, а эколого-геохимические исследования – работы по изучению природных геохимических аномалий, ареалов техногенного загрязнения и их влияния на живые организмы, социальные и экологические системы [ГОСТ Р 53795-2010].

С учётом приведённых выше определений диссертационная работа подготовлена в рамках геоэкологии – междисциплинарного научного направления, объединяющего исследования состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов, и (в соответствии с паспортом специальности 25.00.36 «Геоэкология») соответствует областям геоэкологических исследований в части: 1) изучения природной среды и геоиндикаторов её изменения под влиянием урбанизации и хозяйственной деятельности человека (п. 1.8); 2) разработки научных основ рационального использования и охраны водных ресурсов, санации и рекультивация земель (п. 1.10); 3) изучения геоэкологических аспектов функционирования природно-технических систем (п. 1.11); 4) геоэкологического мониторинга и обеспечения экологической безопасности (п. 1.12); 5) моделирования геоэкологических процессов (п. 1.13); 6) геоэкологической оценки территорий (п. 1.17); 7) научного обоснования государственного нормирования и стандартов в области геоэкологических аспектов природопользования (п. 1.18).

Основное внимание в рассматриваемой диссертационной работе уделяется изучению влияния добычи твёрдых полезных ископаемых на подземные и поверхностные водные объекты с учётом того, что размещение источников загрязнения

по определению приурочено к участкам с природными геохимическими аномалиями. В такой ситуации выделение природной и антропогенной составляющих является очень актуальной и нетривиальной научной задачей. Исследования в этом направлении в разное время проводили [Алёкин, 1970; Перельман, 1975; Глазовский, 1982; Шварцев, 1998; Мироненко, Румынин, 1999; Зверев, 1999, 2011; Алексеенко, 2000; Крайнов, Рыженко, Швец, 2004; Белоусова, Гавич, Лисенков, Попов, 2006; Хустов, Редина, 2006; Подземные воды Мира.... 2007; Рихванов, 2009 и другие]. Также следует отметить, что в случае нормирования антропогенных воздействий на поверхностные водные объекты на территории Российской Федерации имеются действующие нормативно-методические документы, позволяющие оценить природно-антропогенный фон и трансформацию химического состава сточных вод, поступающих в водоёмы и водотоки [РД 52.24.622-2001; Методика.... 2007]. Однако непротиворечивая и пригодная для практического использования методика составления и анализа гидрогеохимического баланса подземного и поверхностного водосборов до сих пор фактически отсутствует [Савичев, 2010].

Ключевым моментом диссертационного исследования является рассмотрение условий водообмена, способствующих формированию геохимических аномалий в подземных и поверхностных водных объектах и приуроченных к ним территориях. Необходимо отметить, что, с одной стороны, работы в этом направлении ведутся практически с начала формирования геохимии как самостоятельной научной дисциплины, в результате чего в практике геохимических поисков полезных ископаемых широко используется ландшафтно-геохимический метод, коэффициенты водной миграции, анализ гидроморфологических условий [Методическое руководство по геологической съёмке..., 1954; Белякова и др., 1962; Инструкция по геохимическим методам..., 1965; Перельман, 1975, 1979; Поликарпочкин, 1976; Шварцев, 1998; Янин, 2002а; Крайнов, Рыженко, Швец, 2004; Алексеенко, 2005].

Также следует отметить, что в последние десятилетия опубликован ряд работ по изучению твёрдого стока как фактора механической миграции химических элементов, особенно при поисках золота [Янин, 2002а,б; Виноградова, Хмелёва, 2009] и огромное количество работ по моделированию переноса загрязняющих веществ в водной среде [Тарасов и др., 1977; Методические основы оценки антропогенного влияния..., 1981; Боценюк, Павелко, 1984; Мироненко, Румынин, 1998; Веницианов, 1999; Михайлов, 2000; Loucks, Van Beek, 2005; Долгоносков, Корчагин, 2005; Benedini, Tsakiris, 2013]. Имеется и обширная литература по обоснованию связей между геохимическими

показателями геологической среды и интенсивностью водообмена [Фадеев, Тарасов, Павелко, 1989; Драйвер, 1985; Jakob, 1995; Крайнов, Рыженко, Швец, 2004; Геологическая эволюция и самоорганизация..., т. 1, 2005; Шварцев, 1998; Лехов, 2010]. С другой, стороны, при общем признании важности интенсивности водообмена в формировании химического состава природных вод, условий аккумуляции и выноса веществ из подстилающих и водовмещающих горных пород, анализ водообмена в рассматриваемой геосистеме и условий его формирования в практике геохимических и геоэкологических исследований чаще всего рассматриваются как вспомогательный этап.

Всё это и определило общую направленность рассматриваемой работы, связанную с изучением современного эколого-геохимического состояния водных объектов верхней гидродинамической зоны и природно-антропогенных условий его формирования с активным использованием информации о водообмене в водосборных бассейнах.

## **1.2. Изученность геоэкологического состояния природно-техногенных комплексов в северной части Вьетнама**

Геологическое изучение рассматриваемой территории проводится достаточно давно, первоначально – при активном участии французских исследователей (в частности, E. Patte при изучении дельты реки Красная, J. Fromaget при исследовании центральной и северной частей Вьетнама, центральной части Лаоса, Dussanit при изучении северной части Вьетнама и северной части Лаоса). К 1942 г. французскими геологами была выполнена обзорная геологическая съёмка большей части территории Вьетнама в масштабе 1: 500 000. Однако на этом этапе была получена только общая геологическая характеристика, а основная часть работ сводилась к поискам свинцово-цинковых руд, добыча которых в регионе проводилась китайцами с XVII в. (месторождение Ту Ле). В начале XX в. основные работы по добыче свинцово-цинковых руд выполнялись французскими специалистами.

После 1954 г. геологические исследования в рассматриваемом регионе были существенно расширены, выполнено картирование в масштабе от 1: 500 000 [Довзиков А.Е., 1965] до 1: 50 000 (по районам Тхуан Чау [Нгуен Динь Хоп и др., 1990 г.], Северный Ту Ле – Ван Бан [Нгуен Динь Хоп и др., 1994], Ван Иен [Нгуен Конг Лыонг и др., 1994], Чам Тау [Нгуен Дак Донг и др., 2000], Бак Канн [Нгуен Кинь Куок и др.,

2000], На Ханг – Бабе [Нгуен Ван Куй, 1994], Бао Лак [Май Тхе Чуен, 1997] и другим). Результаты геологических исследований в этот период опубликованы в работах, Ву Нгок Хай (1977), Чан Ван Чи (1977), Тхай Куи Лам (1995), До Ван Фи (2000), Нгуен Кхуй Синь (1984), Нгуен Ван Нхан (1977), Фан Кы Тиен (1977), Нгуен Тхы Зао, Фам Дык Лыонг (1994), До Куок Бинь (2003, 2006), Май Чонг Ту (2007), Хоанг Чунг Ай (2010), Нгуен Суан Кхень (2011). Кроме этого, в это же время защищены докторские диссертации по геологии Хо Выонг Бинь (1982), Нгуен Ван Хок (1995) и Ле Тхань Ме (1997), Дао Динг Бак (2011). Благодаря этим работам были изучены тектоника региона, геохимические условия, выявлены геологические комплексы, выявлены проявления Pb, Zn, Au, Ag, W, Mo, Cu, U и так далее.

Значительно хуже изучены геоэкологические условия региона, в том числе, геоэкологические аспекты добычи полезных ископаемых. До 1954 г. подобные работы практически не проводились, а основной интерес к геоэкологическим проблемам стал проявляться в основном в последнее десятилетие. Так, в некоторых провинциях Вьетнама стала осуществляться подготовка ежегодных докладов о состоянии окружающей среды, изучено эколого-геохимическое состояние подземных и поверхностных вод в населённых пунктах провинции Баккан [Хо Выонг Винг, 2000] и распределение микроэлементов в водах и почвах на части территорий уездов Чодонь и Нганшон провинции Баккан [Нгуен Хонг Куанг и др, 2004, 2013; Хоанг Тхи Туэт Нга, 2005; Нгуен Ван Фо и др., 2006], выполнена предварительная оценка состояния окружающей среды в районах добычи полезных ископаемых в провинциях Баккан, Лангшон, Куангнинь, Бакзанг и Тхайнгуен [Нгуен Хонг Куанг и др, 2013]. В результате этих работ в регионе были выявлены участки с повышенными концентрациями As, Pb, Zn, но причины их формирования не выяснены. В целом не удалось и количественно оценить влияние добычи полезных ископаемых на состояние водных объектов.

Также следует отметить, что эколого-геохимические исследования проводились в рамках изучения сопутствующих компонентов при добыче полезных ископаемых с целью повышения их эффективности [Чан Туан Ань, 2008], химического состава рудничных вод и возможностей гидрогеохимического метода поисков полезных ископаемых на севере Вьетнама [Хо Выонг Бинь, 1982] и в процессе оценки ресурсов подземных вод в уезде Чодонь [Хоанг Динь Вьет, 2004]. В последнем случае работы были фактически выполнены только в нескольких коммунах, а общая оценка состояния подземных вод в уезде Чодонь и их защищённости пока отсутствует.

В целом, изученность водных объектов в уезде Чодонь провинции Баккан пока не позволяет успешно решать многие вопросы водопользования, комплексного использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. Геоэкологические исследования до последнего времени были локализованы на относительно небольших участках, количество изученных геохимических показателей и объём данных наблюдений ограничены. Как следствие, влияние добычи полезных ископаемых на состояние водных объектов и условия самоочищения природных вод изучены недостаточно.

## 2. Объекты и методика исследования

В качестве основных объектов исследования выбраны подземные и поверхностные воды, донные отложения рек в водосборных бассейнах: 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 Бабе; реки Бантхи (приток реки Гам, впадающей в реку Ло) и её притока – река Ченгу.

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 Вьетнамского Института геологии и минеральных ресурсов за 2010–2014 гг. [Нгуен Кинг Куок и др., 2001; Нгуен Чонг Зунг, 2006; Нгуен Хонг Куанг и др., 2011; Нгуен Мань Ха и др., 2014], полученные при участии автора (93 пробы поверхностных и подземных вод, в которых определялись значения pH, удельной электропроводности, концентрации Zn, Cd, Pb, Mn, Hg, As [Nguyen et al., 2015]). Методика исследования включала в себя:

1) отбор в меженный период проб речных и подземных вод с учётом требованиями [Water Quality Assessments..., 1996; ГОСТ Р 51592-2000; Технический регламент... 2006; Guide to Hydrological..., 2008; Weight, 2008; Р 52.24.353-2012]: 1.1) 14–16.02.2015 г. – 10 проб речных (рр. Бантхи, Ченгу, Дай, Фо Дай, Кау, Та Диенг) и 5 проб подземных вод; 19–20.2016 г. – 11 проб речных (рр. Дай, Фо Дай, Намду, Бантхи, 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 показан на рис. 2.1, схема расположения пунктов отбора подземных вод – на рис. 2.2, а речных вод – на рис. 2.3; краткое описание пунктов отбора проб воды приведено в табл. 2.1; процедура отбора проб речных вод показана на рис. 2.4;

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.; табл. 2.1) с учётом требований [ГОСТ 17.1.5.01-80; Water Quality Assessments..., 1996; РД 52.24.609-99; Guide to Hydrological..., 2008];

3) проведение одновременно с отбором проб воды измерений глубины и ширины потока, скоростей течения и последующее определение расходов воды с учётом

[Наставления гидрометеорологическим..., 1975; Технический регламент.... 2006; Guide to Hydrological..., 2008], а также определение ряда расчётных гидрологических характеристик согласно [Международное руководство..., 1984; Пособие..., 1984; Пособие к СНиП 2.05.03-84..., 1992; СП 33-101-2003]; в частности, при анализе связей между геохимических и гидрологических показателей выполнен расчёт максимального водного стока дождевого паводка  $Q_{\max}$  обеспеченностью  $p$  с использованием так называемого «рационального» метода или метода «предельной интенсивности» [Пособие к СНиП 2.05.03-84, 1992; Бузин, 2008; Mujumdar, Kumar, 2012]:

$$Q_{\max,p} = 16,7 \cdot I_{rf,p} \cdot \theta_{rf,p} \cdot k_{rf,\theta,1} \cdot k_{rf,\theta,2} \cdot k_{rf,\theta,3} \cdot F, \quad (2.1)$$

где  $I_{rf,p}$  – расчетная интенсивность осадков, соответствующая заданной обеспеченности для расхода воды, мм/мин;  $\theta_{rf,p}$  – коэффициент склонового стока;  $k_{rf,\theta,1}$  – коэффициент редукции максимального дождевого стока, определяемый в зависимости от площади водосборного бассейна  $F$ ;  $k_{rf,\theta,2}$  – коэффициент учета влияния уклона главного русла  $J$ ;  $k_{rf,\theta,3}$  – коэффициент, учитывающий форму водосборного бассейна; в качестве расчётной обеспеченности приняты 1 и 10 %;

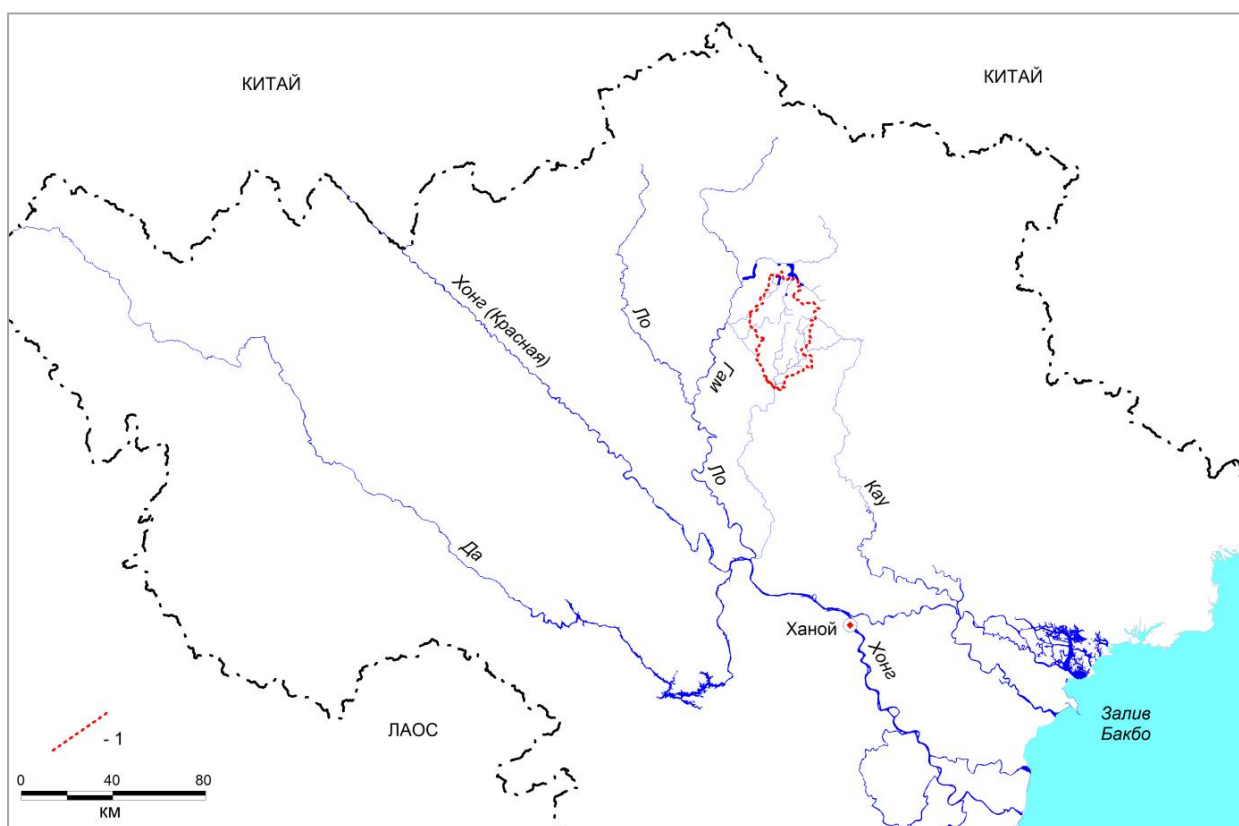


Рисунок 2.1 – Схема расположения района исследований (1) в междуречье рек Ло и Кау

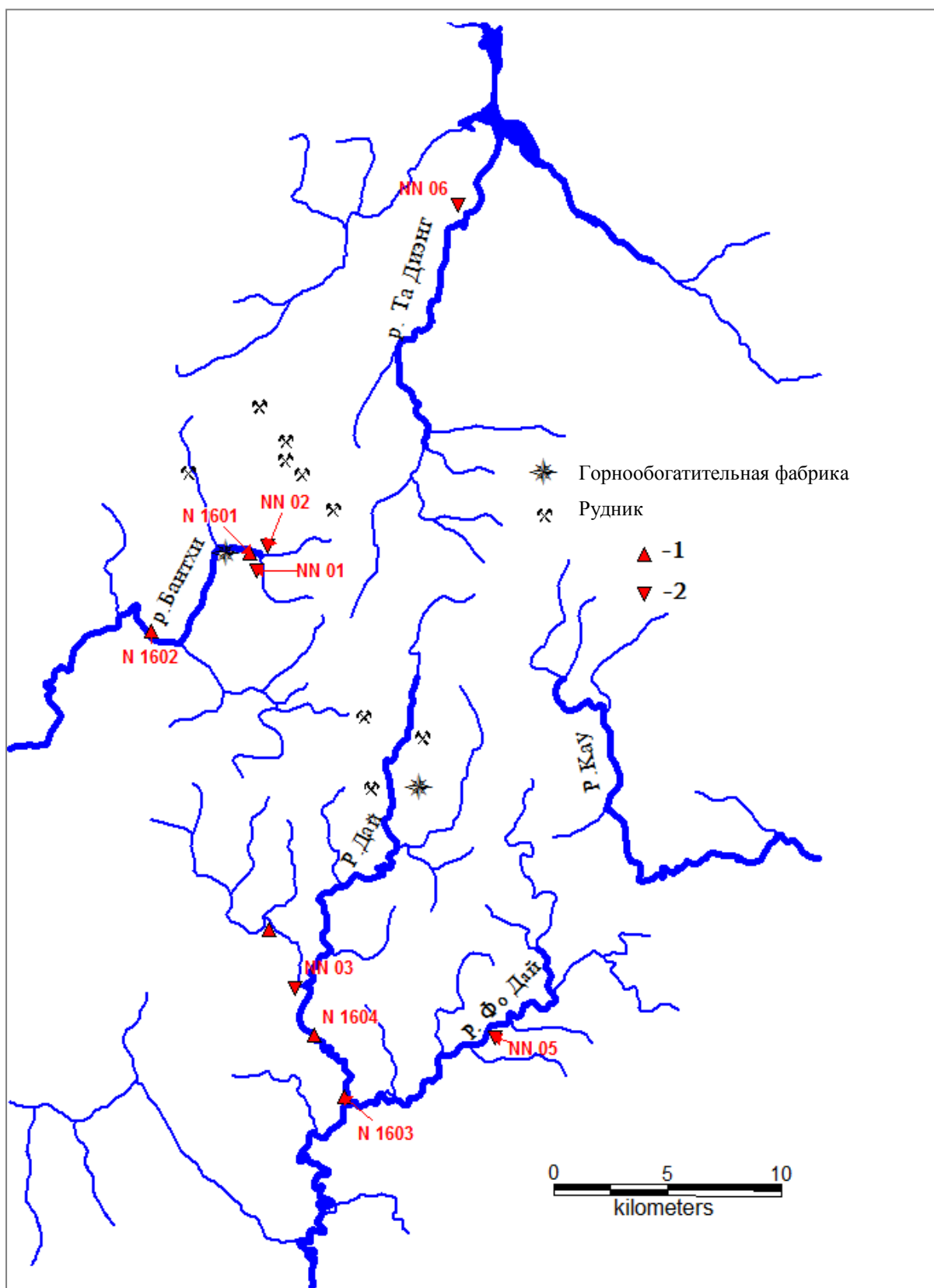


Рисунок 2.2 – Схема отбора проб подземных вод в 2015 и 2016 гг.; пункты отбора проб:  
1 – в 2016 г.; 2 – в 2015 г.



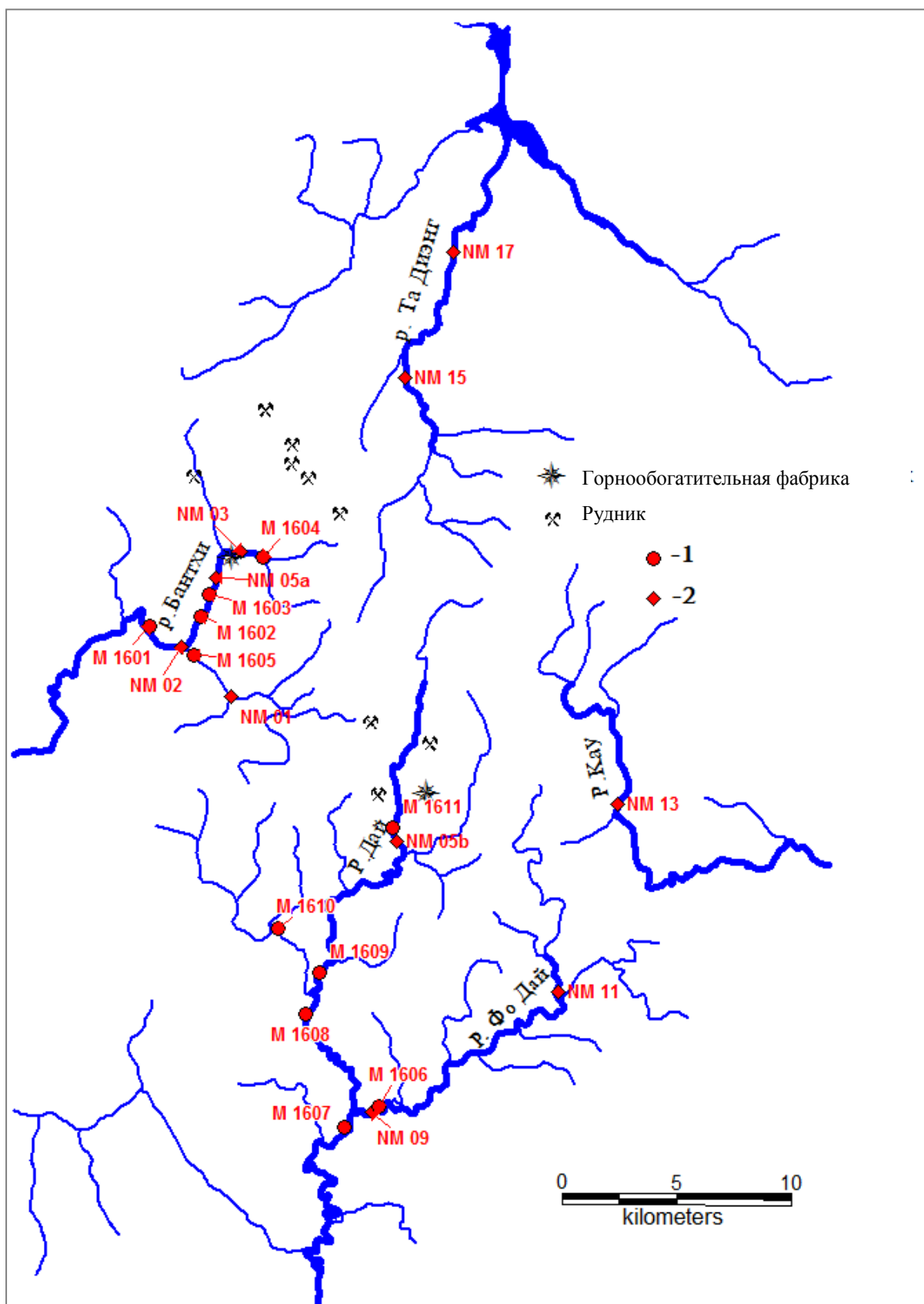


Рисунок 2.3 – Схема отбора проб речных вод в 2015 и 2016 гг.; пункты отбора проб: 1 – в 2016 г.; 2 – в 2015 г.

Таблица 2.1 – Сведения о пунктах отбора проб подземных и речных вод, донных отложений рек в 2015–2016 гг.

Номер Нарис. 2.2, 2.3	Водный объект*	Водосбор реки	Дата отбора пробы	Исследуемые компоненты окружающей среды
NM03	р. Бантхи (5.6)	Бантхи	14.02.15	Речные воды
NM05 <sub>a</sub>	р. Бантхи (7.9)	Бантхи	14.02.15	Речные воды
NM02	р. Бантхи (10.6)	Бантхи	14.02.15	Речные воды
M1604	р. Бантхи (3.7)	Бантхи	19.02.16	Речные воды и донные отложения
M1603	р. Бантхи (7.8)	Бантхи	19.02.16	Речные воды и донные отложения
M1602	р. Бантхи (9.0)	Бантхи	19.02.16	Речные воды и донные отложения
M1601	р. Бантхи (13.1)	Бантхи	19.02.16	Речные воды и донные отложения
NM01	р. Ченгу (6.5)	Бантхи	14.02.15	Речные воды
M1605	р. Ченгу (8.0)	Бантхи	19.02.16	Речные воды и донные отложения
NM05 <sub>b</sub>	р. Дай (13.8)	Дай	15.02.15	Речные воды
M1611	р. Дай (16.1)	Дай	20.02.16	Речные воды и донные отложения
M1609	р. Дай (29.6)	Дай	20.02.16	Речные воды и донные отложения
M1608	р. Дай (32.8)	Дай	20.02.16	Речные воды и донные отложения
M1607	р. Дай (41.7)	Дай	20.02.16	Речные воды и донные отложения
M1610	р. Намду (11.3)	Дай	20.02.16	Речные воды и донные отложения
NM11	р. Фо Дай (13.3)	Дай	15.02.15	Речные воды
NM09	р. Фо Дай (26.5)	Дай	16.02.15	Речные воды

Номер Нарис. 2.2, 2.3	Водный объект*	Водосбор реки	Дата отбора пробы	Исследуемые компоненты окружающей среды
M1606	р. Фо Дай (32.9)	Дай	20.02.16	Речные воды и донные отложения
NM13	р. Кау (15.0)	Кау	16.02.15	Речные воды
NM15	р. Та Диенг (12.7)	Та Диенг	16.02.15	Речные воды
NM17	р. Та Диенг (19.3)	Та Диенг	16.02.15	Речные воды
NN01	Подземные воды у п. Бантхи, кол. (7.5)	Бантхи	14.02.15	Подземные воды
NN02	Подземные воды у п. Бантхи, скв. (30)	Бантхи	14.02.15	Подземные воды
N1601	Подземные воды у п. Бантхи, скв. (30)	Бантхи	19.02.16	Подземные воды
N1602	Подземные воды у п. Фокау, скв. (22)	Бантхи	19.02.16	Подземные воды
NN03	Подземные воды у п. Нгия Та, скв. (16)	Дай	15.02.15	Подземные воды
NN05	Подземные воды у п. Иен Нхань, скв.(13)	Дай	15.02.15	Подземные воды
N1603	Подземные воды у п. Вангкуан, скв. (30)	Дай	20.02.16	Подземные воды
N1604	Подземные воды у п. Банлас, скв. (22)	Дай	20.02.16	Подземные воды
N1605	Подземные воды у п. Бангланг, кол. (10)	Дай	20.02.16	Подземные воды
NN06	Подземные воды у п. Нам Кьюнг, скв. (41)	Та Диенг	16.02.15	Подземные воды

Примечание: \* для рек в скобках приведено расстояние от истока до створа пробоотбора, км; для подземных вод – глубина отбора пробы воды, м

дополнительно выполнен расчёт гидроморфологического показателя  $K_G$ , характеризующего влияние уклона реки  $J$ , ширины водосбора  $B_F$  и средней шероховатости его поверхности  $n_F$  на водный сток:

$$Q = \frac{B_F \cdot \sqrt{J}}{n_F} \cdot y^{\frac{5}{3}} = K_G \cdot y^{\frac{5}{3}}, \quad (2.2)$$

где  $y$  – слой водоотдачи водосбора [Савичев, Паромов, 2013]; более детально методика расчёта гидрологических характеристик описана в [Савичев, Нгуен, 2015а];



Рисунок 2.4 – Отбор поверхностных вод в феврале 2015 и 2016 гг. (работы выполняет Нгуен Ван Луен)

4) определение химического состава речных и подземных вод, водных вытяжек из донных отложений (фракция менее 0,5 мм) в аккредитованной гидрогеохимической лаборатории Томского политехнического университета (номер государственной аккредитации № РОСС RU. 0001.511901 от 12.07.2011 г.); в пробах подземных и речных вод проводилось определение: в 2015–2016 гг.: потенциметрическим – pH; титриметрическим –  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{CO}_2$ , СГ, перманганатной (ПО) и бихроматной (БО) окисляемости; турбидиметрическим –  $\text{SO}_4^{2-}$ ; фотометрическим – Si,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , ионной хроматографией –  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ; 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<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>2</sub>, Cl<sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> – титриметрического; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – турбидиметрического; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> – фотометрического; Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> – 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 гидрогеохимических и геохимических данных, выполненный с учётом требований [РД 52.24.622-2001] и включавший в себя оценивание статистических параметров, исключение экстремальных значений, корреляционный и регрессионный анализ; выявление экстремальных значений проводилось с использованием условий:

$$\frac{C_{\max} - C_a}{\sigma} \geq K_{ex}, \quad (2.3)$$

$$\frac{C_a - C_{\min}}{\sigma} \geq K_{ex}, \quad (2.4)$$

где  $C_a$ ,  $C_{\max}$ ,  $C_{\min}$  – средняя (арифметическая), максимальная и минимальная концентрации вещества;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение значений концентраций вещества;  $K_{ex}$  – значение, определяемое в зависимости от объёма выборки  $N$  [РД 52.24.622-2001]; в случае несоблюдения хотя бы одного из условий (2.3, 2.4) экстремальное значение исключалось из выборки и проводился перерасчёт статистических параметров; в качестве характеристики фоновых концентраций, согласно [Инструкция по геохимическим... 1965], были использованы среднее геометрическое  $C_G$  и верхняя граница его определения  $C_{GUP}$ :

$$C_{GUP} = C_G \cdot \exp\left(\frac{3 \cdot \sigma_{\ln C}}{\sqrt{N}}\right), \quad (2.5)$$

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:

$$Z = \sum \frac{C}{C_{GUP}} - (N_m - 1), \quad (2.6)$$

где  $N_m$  – количество случаев, когда  $C/C_{GUP} > 2$  [Головин и др., 2002]; корреляционная связь между величинами  $X$  и  $Z$  принималась значимой (при уровне значимости 5%), если выполнялось условие (2.7), а уравнение связи – удовлетворительной при условии (2.8):

$$r_{X,Z} \geq 2 \cdot \frac{1 - r_{X,Z}^2}{\sqrt{N-1}}, \quad (2.7)$$

$$\frac{S}{\sigma} = \frac{1}{\sigma} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Z_{1,i} - Z_{2,i})^2}{N-m}} \leq 0,8, \quad (2.8)$$

где  $r_{X,Z}$  – коэффициент корреляции;  $N$  – объём выборки;  $m$  – число параметров в зависимости;  $Z_1$  и  $Z_2$  – измеренное и вычисленное значения величины  $Z$ ;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение  $Z_1$  [Nash, Sutcliffe, 1970; Крицкий, Менкель, 1982];

б) расчёт индекса насыщения  $\eta$ , который выполнялся с использованием программного комплекса Solution+ [Савичев, Колоколова, Жуковская, 2003]:

$$\eta = \lg \Pi A - \lg K_{neq}, \quad (2.9)$$

где  $\Pi A$  – произведение активностей группы веществ;  $K_{neq}$  – константа неустойчивости. Методика термодинамических расчётов применительно к рассматриваемой территории приведена в [Савичев, Нгуен, 2015а,с];

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 – по формуле:

$$P(r \cdot f) = P(r/f) \cdot P(f) = P(f/r) \cdot P(r), \quad (2.10)$$

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:

$$C = C_U \cdot \frac{Y_U}{Y} \cdot \left( \frac{F_U}{F} \right)^k, \quad (2.11)$$

где  $C$ ,  $Y$ ,  $F$  – концентрация вещества (мг/дм<sup>3</sup> или мг/кг), слой водного стока (мм) и площадь водосбора (км<sup>2</sup>) в расчётном створе;  $C_U$ ,  $Y_U$ ,  $F_U$  – концентрация вещества

(мг/дм<sup>3</sup> или мг/кг), слой водного стока (мм) и площадь водосбора (км<sup>2</sup>) 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  $K_G$ , максимальных расходов воды, расчёту коэффициентов корреляции, погрешностей их определения и выявлению регрессионных зависимостей, которые признавались удовлетворительными при условии  $R^2 > 0.36$ , где  $R^2$  – квадрат корреляционного отношения [Савичев, Нгуен, 2015а].

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 с учётом [Руководство по определению гидрографических..., 1986]. Совпадение речной сети и тектонических нарушений 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]. При расчёте слоя стока рассматривались два варианта использования формулы (2.11): 1)  $Y_U \approx Y$ ; 2) величина  $Y_U$  определяется для конкретной реки путём аппроксимации линии нелинейного тренда, полученного по данным измерений расходов воды.

Анализ условий самоочищения рек проводился как путём сопоставления геохимических показателей, полученных на реках (или их участках) с разной антропогенной нагрузкой, так и посредством разработки и апробации математической модели распространения и трансформации веществ в речных водах (учёт процессов, оказывающих значимое влияние на соответствие результатов моделирования данным наблюдений). Модель основана на решении уравнения турбулентной диффузии в потоке [Jakob, 1997; Loucks, Van Beek, 2005; Benedini, Tsakiris, 2013]. Её описание приведено в главе 5.

### 3. Условия формирования эколого-геохимического состояния водных объектов в уезде Чодонь провинции Баккан

Уезд Чодонь расположен на северо-западе Вьетнама, на западе провинции Баккан. Территория уезда Чодонь составляет 911,15 км<sup>2</sup> (1875% от площади провинции Баккан). В её пределах расположены город Банглунг и 21 коммуна (рис. 3.1). Географические координаты уезда Чодонь – от 105°25' до 105°43' восточной долготы и от 21°57' до 22°25' северной широты. Административный центр уезда – Банглунг – расположен в 46 км от города Баккан (административный центр провинции) и в 170 км от города Ханой (столица Вьетнама).

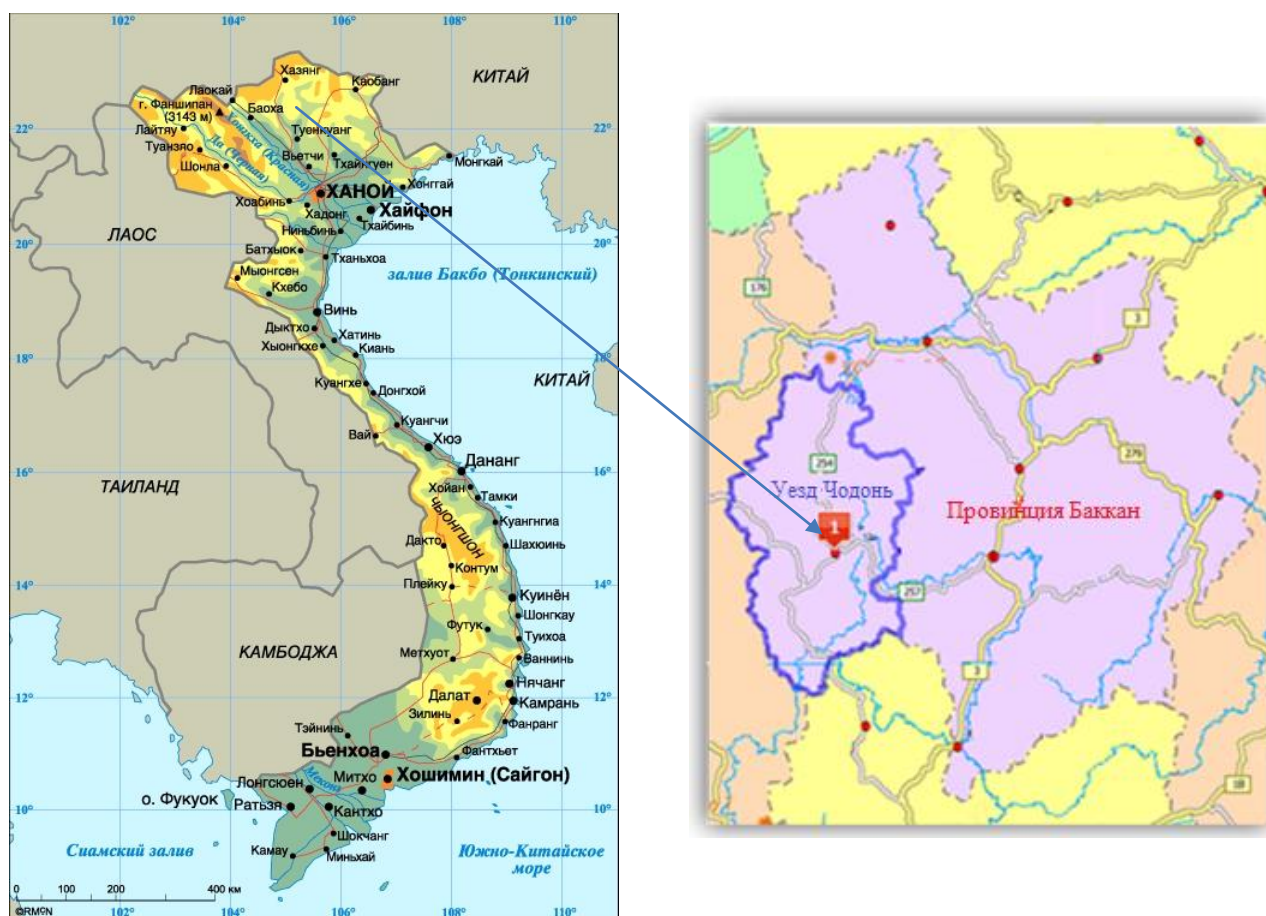


Рисунок 3.1 – Административное положение района исследования

#### 3.1. Геоморфологические и геологические условия

Рассматриваемая территория характеризуется высотными отметками до 1200 м с общим понижением в сторону реки Красная и в целом относится к низко- и среднегорью (с учётом градаций согласно [Рычагов, 2006]). Горные хребты простираются с юго-востока на северо-запад.



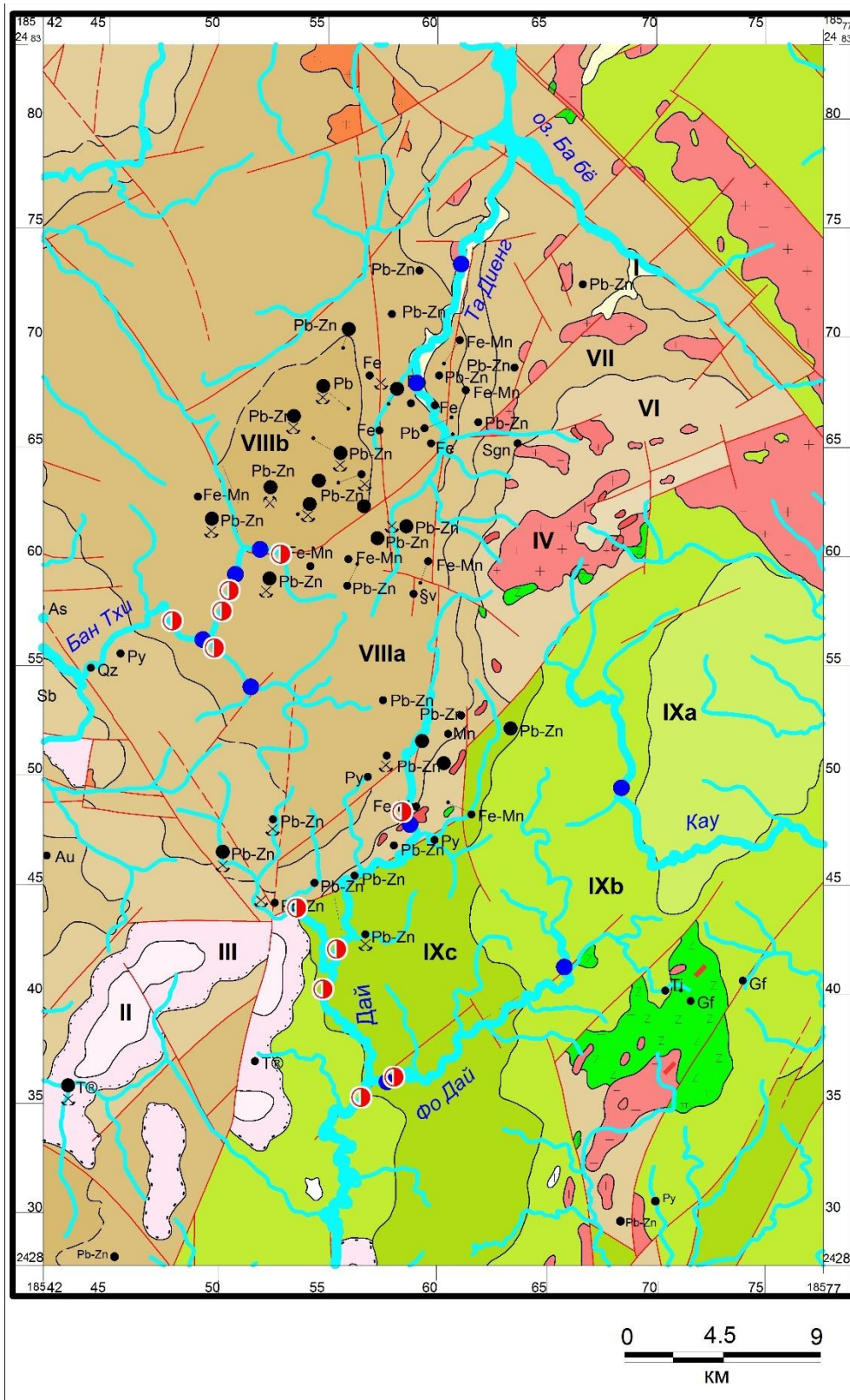


Рисунок 3.1 – Схема геологического строения района исследований по данным Нгуен Кинг Нуок [Нгуен Кинг Куок, 2001]: I – *четвертичные отложения*: нелитифицированные, галька, гравий, глины, ил; (aQ); *верхний структурный этаж*, формация Van Lang: II – *верхняя субформация* ( $T_{3n-rv1_2}$ ), конгломераты, гравелиты,

песчаники с прослоями иллитовых глинистых сланцев; III – *нижняя субформация* (Tn-rv1<sub>1</sub>) переслаивание глинисто-серицитовых сланцев и кварцитовидных песчаников с тонкими прослоями известняков; IV – интрузивный комплекс Phia Bios (γT3npb1), гранодиориты порфировидные биотитовые граниты, аплиты, пегмтиты; V – Интрузивный комплекс Nui Chua (vTnnc), габбро-перидотиты, габбро, троктолиты, габбро-пироксениты, габбро-нориты, габбро-пегмтиты; **средний (девонский) структурный этаж**: VI - формация Khao Loc, *верхняя субформация* (D<sub>1-2</sub>kl<sub>2</sub>)- черные известняки, мергели; *нижняя субформация* (D<sub>1-2</sub>kl<sub>1</sub>)- глинисто-серицитовые сланцы, кварцитовидные песчаники с тонкими прослоями известняков; VII –Формация Mia Le; *Верхняя субформация* (D<sub>1</sub>ml<sub>2</sub>)- песчаники, известняки, мергели, переслаивающиеся с глинистыми сланцами и известковистыми филлитами; *нижняя субформация* (D<sub>1</sub>ml<sub>1</sub>)- глинистые, мергелистые сланцы, глинистые известняки и аргиллиты; VIII - Формация Pía Phuong: а - *верхняя субформация* (D<sub>1</sub>pp<sub>2</sub>)- серицит-кварцевые сланцы, риолитовые, кварц-альбитофировые туфы, мраморы; б - *нижняя субформация* (D<sub>1</sub>pp<sub>1</sub>)- глинисто-серицитовые сланцы, черные битуминозные аргиллиты, филлиты, доломитовые известняки и мраморы; IX **нижний (ордовикский) структурный этаж**, формация Phu Ngu: а - *верхняя субформация* (O<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>pn<sub>3</sub>)- кварцевые песчаники, кварциты, с прослоями биотит-андалузит-кордиеритовых сланцев; б - *средняя субформация* (O<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>pn<sub>2</sub>)- черные глинисто-кремнистые сланцы, туфоалевролиты, линзы известняков; в - *нижняя субформация* (O<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>pn<sub>1</sub>)- сланцы, песчаники с тонкими прослоями кремнистых аргиллитов, известковые алевролитов, туфобрекчий; ☒ -габброиды; ☐ – крупнозернистые граниты; ☐ – мелкозернистые граниты; \ - тектонические нарушения; ● - месторождения - ●; проявления - ●: а) ☒ - действующие, б) ☒ - отработанные : Pb-Zn – свинец – цинк; Fe – железо; T(R) – уголь; Py – пирит; §v – известняк; Sgn – глины для производства кирпича и плитки; пункты отбора геохимических проб: 1- ● 2- ● (1 – в 2015 г., 2 – в 2016 г.)

Северная часть Вьетнама связана с окраиной Южно-Китайской платформы, Катазианской каледонской и Индокитайской (Северо-Вьетнамской) складчатыми системами [Строкова, Фи, 2013]. В геологическом строении исследуемого района принимают участие отложения трёх структурных этажей, залегающих на допалеозойском гранитно-метаморфогенном основании нижнего структурного этажа, не вскрытом в пределах площади (рис. 3.1).

Образования нижнего и среднего структурных этажей слагают крупную грабен-синклиналь, выполненную осадками ордовик-силурийского и девонского возрастов. Строение грабен-синклинали осложнено наложенными субизометричными впадинами, выполненными осадками верхнего структурного этажа верхнетриасового возраста, расположенными на юго-западе территории. Осадочные комплексы прорваны разновозрастными, сложно построенными интрузивами габбро-гранитной серии верхнепалезойского и мезо-кайнозойского этапов тектоно-магматической активизации. Разновозрастные и разноориентированные тектонические структуры предопределяют мозаично-блоковое строение района и являются благоприятной основой для развития речной сети территории. Металлогенический облик района определяется наличием значительного количества проявлений и мелких месторождений свинца, цинка, железа, марганца, по-видимому, стратиформных [Дао Мань Тиен, 1984; Нгуен Кинг Куок, 2001].

### **3.2. Климатические условия**

Согласно [Притула, Ерёмкина, Спрялин, 2004; ГОСТ 15150-69; ГОСТ 24482-80], климат рассматриваемой территории – тропический влажный, характеризуется положительной среднегодовой температурой (23,4°C) и суммой атмосферных осадков, превышающей 1500 мм/год (табл. 3.1). Так, на метеостанции Хагианг, расположенной к северо-западу от рассматриваемой территории, сумма годовых атмосферных осадков составляет 2332 мм/год, на метеостанции Туенкуанг (к юго-западу) – 1635 мм/год [Строкова, Фи, 2013], а на метеостанции Ханой – 1678 мм/год (табл. 3.1). Наиболее жаркие месяцы – с мая по ноябрь, наиболее увлажнённые – с июля по ноябрь. Среднегодовая скорость ветра на метеостанции Ханой составляет 3,3 м/год (табл. 3.1), в летний период преобладают ветры юго-восточного направления, в зимний – юго-восточного, северного и северо-восточного направлений (табл. 3.2). По данным Фишера А.Р. (приводится по [Строкова, Фи, 2013]), физическое испарение в г. Ханой составляет 932 мм/год, транспирация – 79 мм/год. На метеостанциях Ланг и Бави (в районе г. Ханой) испарение с водной поверхности за период 1985–2010 гг. изменяется в диапазоне 489 – 1126,7 и 681,7 – 1104,5 мм/год соответственно [Строкова, Фи, 2013].

Таблица 3.1 – Средние значения температуры воздуха, скорости ветра, относительной влажности и атмосферных осадков на метеостанции Ханой [ГОСТ 24482-80]

Период	Температура воздуха, °С			Скорость ветра, м/с	Относительная влажность, %	Сумма атмосферных осадков, мм
	средняя	абсолютный минимум	абсолютный максимум			
I	16,7	5,6	33,3	2,6	74	18,0
II	17,2	6,1	34,4	3,3	78	29,0
III	19,9	11,7	36,7	2,6	80	39,0
IV	23,6	10,0	39,4	2,7	78	79,0
V	27,2	15,6	42,8	2,2	73	193
VI	28,8	20,6	40,0	2,3	74	234
VII	28,6	21,7	40,0	1,7	76	322
VIII	28,2	21,1	38,3	3,2	78	333
IX	27,2	17,2	37,3	3,2	76	248
X	24,6	13,9	35,6	3,6	72	116,0
XI	21,2	6,7	36,1	3,5	71	44,0
XII	18,1	6,7	36,7	4,2	72	18,0
Год	23,4	5,6	42,8	3,3	75	1678

Таблица 3.2 – Повторяемость направлений ветра и штилей на метеостанции Ханой [ГОСТ 24482-80]

Месяц	Повторяемость различных направлений ветра, %								
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
I	17	19	13	22	10	7	2	10	0
IV	10	10	13	38	18	2	1	3	5
VII	10	8	11	30	16	7	5	8	5
X	22	17	12	18	8	2	5	15	1

### 3.3. Гидрологические условия

Гидрографическая сеть рассматриваемой территории принадлежит бассейну системы рек Красная (Хонг) и Тхайбинь, впадающих в Восточное море (другое название – Южно-Китайское). Наиболее крупные реки – река Кау (левый приток реки Красной), река Дай (приток реки Ло, впадающей в реку Красная), река Бантхи (элемент речной сети «Бантхи – Гам – Ло – Красная»), река Та Диенг (впадает в озеро Бабе, гидравлически связанное с притоками реки Красная). Морфометрические характеристики исследуемых рек и их водосборов приведены в табл. 3.3, материалы гидрологических наблюдений – в табл. 3.4. Вид участков гидрологических наблюдений на исследуемых реках показан Нарис. 3.2–3.5.

Таблица 3.3 – Морфометрические характеристики рек Бантхи, Ченгу, Дай, Фо Дай, Намду, Та Диенг, Кау

Пункт (рис. 2.2)	Река	Куда впадает	$L$ , км	$F$ , км <sup>2</sup>	$F_U$ , км <sup>2</sup>	$L(r)$ , км	$L(r,f)$ , км	$L(f)$ , км
NM 03	Бантхи	р. Гам	5,6	23	7	10,1	3,5	4,8
NM 05 <sub>а</sub>	Бантхи	р. Гам	7,9	54	20	18,5	9,8	11,0
NM 02	Бантхи	р. Гам	10,6	119	27	47,1	13,3	19,1
M1604	Бантхи	р. Гам	3,68	16,1	4	9,1	2,5	3,8
M1603	Бантхи	р. Гам	7,84	71,4	20	19,4	9,8	11,0
M1602	Бантхи	р. Гам	8,99	75,4	27	20,5	9,8	11,0
M1601	Бантхи	р. Гам	13,14	134	27	74,6	13,3	19,1
NM 01	Ченгу	р. Бантхи	6,5	43	7	22,3	3,5	8,1
M1605	Ченгу	р. Бантхи	7,98	48	7	24,6	3,5	8,1
NM 05 <sub>в</sub>	Дай	р. Ло	13,8	45	7	13,9	8,6	11,6
M1611	Дай	р. Ло	16,12	43,8	7,7	14,5	8,6	11,6
M1609	Дай	р. Ло	29,57	110,5	12	34,5	15,8	30,6
M1608	Дай	р. Ло	32,82	164,8	13	63,4	27,9	58,6
M1607	Дай	р. Ло	41,68	182,3	23	135,8	41,3	87,6
M1610	Намду	р. Дай	11,32	40,8	6	22,6	7,5	30,0
NM 11	Фо Дай	р. Дай	13,3	33	4	17,0	0,1	0,8
NM 09	Фо Дай	р. Дай	26,5	129	10	64,4	12,1	26,0

Пункт (рис. 2.2)	Река	Куда впадает	$L$ , км	$F$ , км <sup>2</sup>	$F_U$ , км <sup>2</sup>	$L(r)$ , км	$L(r,f)$ , км	$L(f)$ , км
M1606	Фо Дай	р. Дай	32,9	129	10	63,9	11,6	25,5
NM 13	Кау	р. Красная	15	78	15	26,1	6,8	13,0
NM 15	Та Диенг	оз. Бабе	12,7	105	12	30,8	11,2	37,3
NM 17	Та Диенг	оз. Бабе	19,3	134	13	42,1	14,4	47,4

Примечание:  $L$  – длина реки от истока до створа;  $F$  – площадь водосбора;  $F_U$  – площадь водосбора в истоках реки без выраженной русловой сети;  $L(r)$  – протяжённость русловой сети в пределах водосбора в створе пункта пробоотбора;  $L(f)$  – протяжённость тектонических нарушений в пределах водосбора в створе пункта пробоотбора;  $L(r,f)$  – протяжённость совпадающих русловой сети и тектонических нарушений

Таблица 3.4 – Гидрологические характеристики рек Бантхи, Ченгу, Дай, Фо Дай, Намду, Та Диенг, Кау на момент опробования в феврале 2015 и 2016 гг.

Номер пункта (рис. 2.3)	Река	Дата измерения	$h_a$ , м	$B$ , м	$v_a$ , м/с	$Q$ , м <sup>3</sup> /с
NM 03	Бантхи	14.02.15	0,30	5,0	0,24	0,365
NM 05 <sub>а</sub>	Бантхи	14.02.15	0,25	20,0	0,31	1,558
NM 02	Бантхи	14.02.15	0,40	6,0	0,26	0,616
M1604	Бантхи	19.02.16	0,27	10,5	0,08	0,229
M1603	Бантхи	19.02.16	0,25	9,1	0,19	0,419
M1602	Бантхи	19.02.16	0,44	10,6	0,09	0,425
M1601	Бантхи	19.02.16	0,35	17,5	0,12	0,710
NM 01	Ченгу	14.02.15	0,20	3,5	0,22	0,151
M1605	Ченгу	19.02.16	0,15	7,2	0,26	0,285
NM 05 <sub>в</sub>	Дай	15.02.15	0,40	18,3	0,15	1,110
M1611	Дай	20.02.16	0,38	13,0	0,20	0,982
M1609	Дай	20.02.16	0,24	11,5	0,42	1,154
M1608	Дай	20.02.16	0,51	33,7	0,20	3,458
M1607	Дай	20.02.16	0,41	40,0	0,27	4,391
M1610	Намду	20.02.16	0,50	11,3	0,20	1,113

Номер пункта (рис. 2.3)	Река	Дата измерения	$h_a$ , м	$B$ , м	$v_a$ , м/с	$Q$ , м <sup>3</sup> /с
NM 11	Фо Дай	15.02.15	0,35	45,0	0,13	2,004
NM 09	Фо Дай	16.02.15	0,20	30,8	0,20	1,224
M1606	Фо Дай	20.02.16	0,32	11,5	0,42	1,534
NM 13	Кау	16.02.15	0,25	50,0	0,27	3,353
NM 15	Та Диенг	16.02.15	0,15	25,0	0,26	0,977
NM 17	Та Диенг	16.02.15	0,25	32,5	0,23	1,907

Примечание:  $h_a$  – средняя глубина потока;  $B$  – ширина потока;  $v_a$  – средняя скорость течения;  $Q$  – расход воды



Рисунок 3.2 – Река Кау, участок у коммуны Донг Вьен

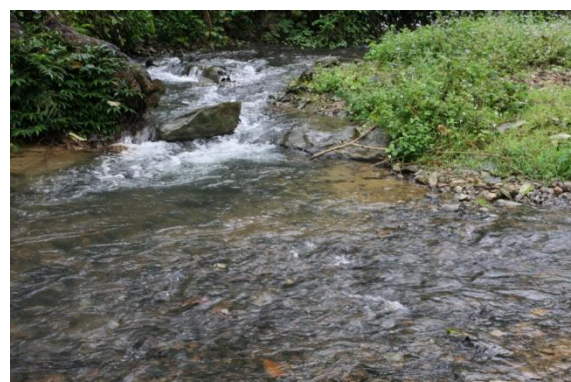


Рисунок 3.3 – Река Бантхи, участок у коммуны Бантхи



Рисунок 3.4 – Река Дай, участок у коммуны Нгиа Та



Рисунок 3.5 – Река Та Диенг, участок у коммуны Донг Лак

Пункты режимных наблюдений в районе исследования расположены на реках Гам (Бакме – изучаются уровни ( $H$ ) и расходы ( $Q$ ) воды; Наханг –  $H$ ; Чемхоа –  $H$ ,  $Q$ ); Ло (Хамьен –  $H$ ,  $Q$ ; Туенкуанг –  $H$ ; Вукуанг –  $H$ ,  $Q$ ), Хонг (Шантай –  $H$ ,  $Q$ ; Ханой –  $H$ ,  $Q$ ), Кау (Тхакзенг –  $H$ ; Тхайнгуен –  $H$ ,  $Q$ ). Непосредственно на рассматриваемой территории пунктов режимных гидрологических наблюдений нет. Ближайшая станция с наиболее близкими природными условиями формирования водного стока – Чемхоа на реке Гам, в которую впадает река Бантхи (площадь водосбора в створе станции 8000 км<sup>2</sup>). По данным, полученным на этой станции, многоводный период (с расходами воды больше среднегодового значения) приходится на июнь – ноябрь, когда выпадает в среднем наибольшее количество атмосферных осадков (рис. 3.6, 3.7).

По данным Фишера А.Р. (приводится по [Строкова, Фи, 2013]), годовой сток в районе г. Ханой составляет 506 мм/год, а соотношение годовых слоёв стока и атмосферных осадков (коэффициент стока) – 0,312, затраты на пополнение ресурсов подземных вод – 80 мм/год (или 0,050 от годового количества атмосферных осадков). В целом, отмечена удовлетворительная линейная связь между годовыми значениями слоя водного стока и атмосферных осадков (рис. 3.8).



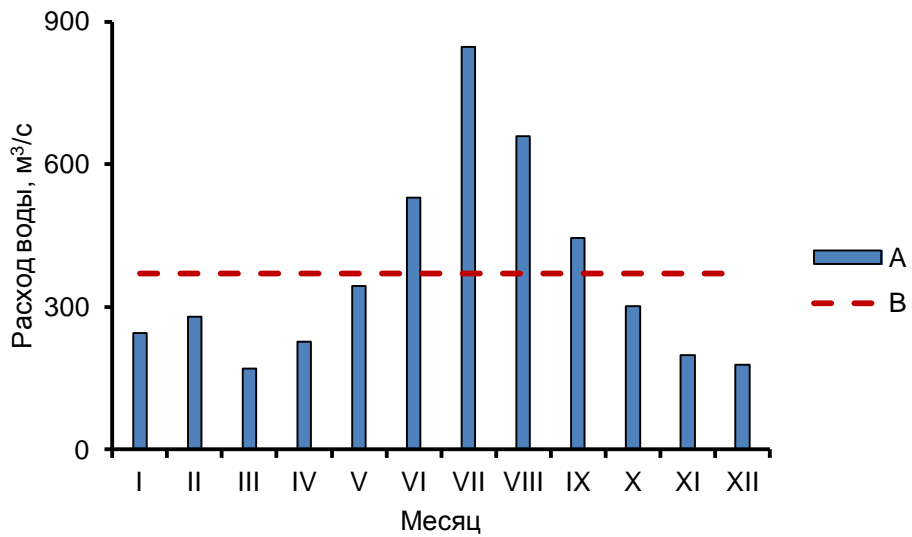


Рисунок 3.6 – Среднемесячные (A) и среднегодовой (B) расходы воды реки Гам в створе Чемхоа в среднем за многолетний период

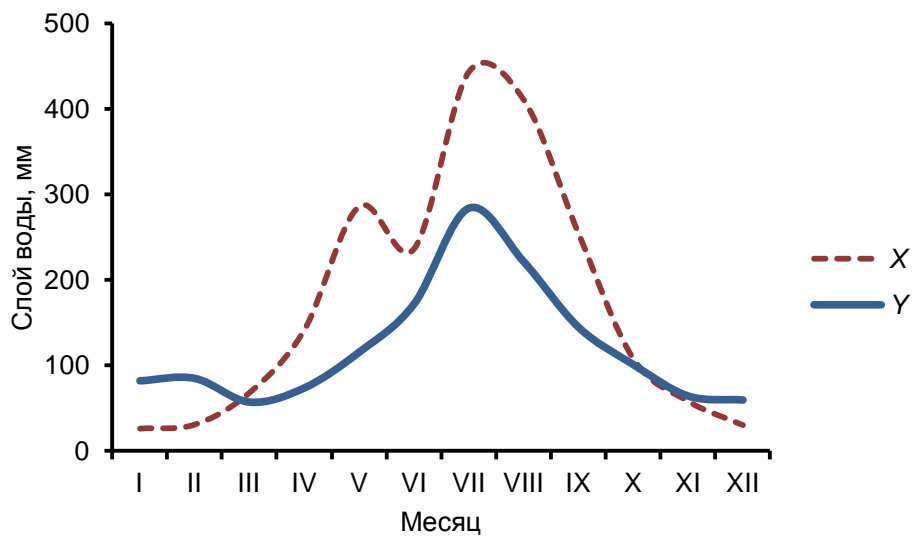


Рисунок 3.7 – Внутригодовое распределение слоя атмосферных осадков (X) и водного стока (Y) реки Гам в створе Чемхоа в среднем за многолетний период

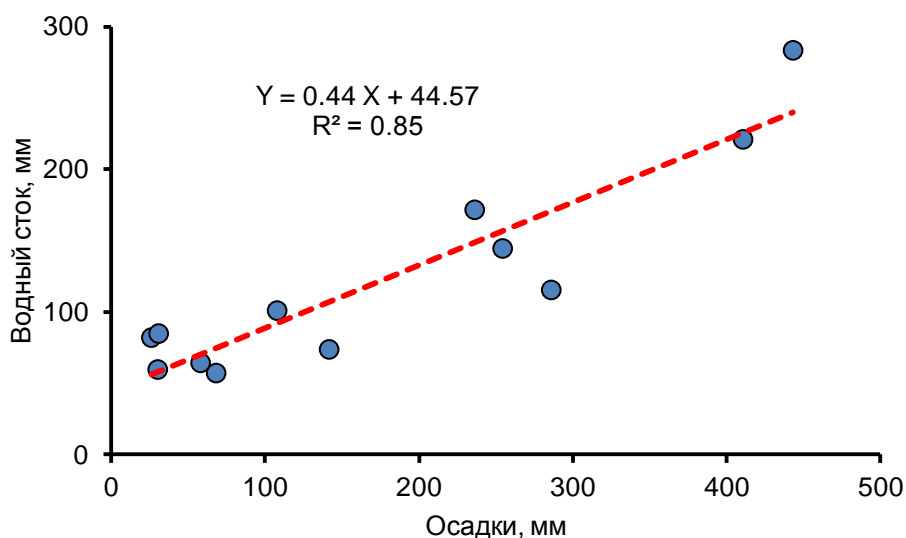


Рисунок 3.8 – Зависимость между слоем водного стока (Y) и слоем атмосферных осадков (X) в бассейне реки Гам в створе Чемхоа в среднем за 2010–2014 гг.

### 3.4. Гидрогеологические условия

В соответствии с гидрогеологической картой Вьетнама масштаба 1: 500 000 [Чан Хонг Фу, 1984] и результатами изучения водных ресурсов уезда Чодонь [Хоанг Динь Вьет, 2004], в гидрогеологическом отношении в пределах рассматриваемой территории выделены водоносные горизонты и комплексы в пористых отложениях четвертичного возраста, в трещиноватых и карстовых осадочных породах. Ниже приведена их краткая характеристика.

#### 3.4.1. Водоносный горизонт в отложениях четвертичного возраста (Q)

Водоносный горизонт приурочен к непоследовательно расположенным водоносным отложениям четвертичного возраста в долинах водотоков в: верховье реки Дай у коммуны Нгокфай; поселении Банглунг; районе коммун Иенмй, Иеннхуан; верховье реки Кау в коммунах Фуонгвьен, Рабан, Донгвьен; истоках реки Бантхи в районе коммуны Бантхи. Состав водоносных отложений – глины, пески, галька с включениями органического вещества. Водоносные отложения залегают на коренных породах формации Фу Нгы (рис. 3.1). Их мощность неравномерна по территории и достигает 40 м. Область разгрузки приурочена к понижениям рельефа. Дебит родников составляет от 0,05 л/с до 0,77 л/с. Родниковая вода используется населением для частных нужд, в основном – в период выпадения дождей. В межень родники

пересыхают. Воды – пресные с минерализацией от 0,19 до 0,3 г/дм<sup>3</sup>, гидрокарбонатные кальциевые; рН от 6,98 до 7,20.

### 3.4.2. Водоносный комплекс в отложениях формации Кок Со (D<sub>1</sub>-D<sub>2e</sub> сх)

Водоносный комплекс расположен в районе Банглунг и ориентирован в направлении с юго-запада на северо-восток. Водовмещающие осадочные породы относятся к формации Кок Со, к верхней и нижней субформациям. Нижняя субформация включает слои, содержащие: 1) глинисто-серицитовые сланцы, глинистые кварц-серицитовые сланцы, тонкие слои известняка, песчаники, кварцитовые песчаники, кремнистые сланцы, известняковые глины, расселины развиваются с наличием карстовых пещер; 2) глинисто-серицитовые сланцы, кремнистые сланцы, известняковые глины, песчаник с известняками; слой содержит свинцово-цинковые руды гидротермального происхождения; 3) глинисто-серицитовые сланцы, тонкие слои кварц-серицитовых сланцев, линзовые песчаники, кварцитовые песчаники. Верхняя субформация состоит из слоёв, включающих: 1) кварцевые песчаники в кварцитовой форме с тонкими глинисто-серицитовыми сланцами; 2) серицитовые сланцы, песчаники, песчаники в кварцитовой форме, известняковые глины, известняки, мраморы (формируется карст).

Водоносный горизонт гидравлически связан с поверхностными водами, а водный режим в значительной мере определяется внутригодовым изменением атмосферного увлажнения. Глубина залегания подземных вод – от 2,4 до 26,7 м; средняя глубина – 13,17 м. Дебит выходов подземных вод на поверхность изменяется в диапазоне от 0,01 л/с до 1,5 л/с; средний дебит скважин – 1,769 л/с. Водоносный горизонт эксплуатируется тремя водозаборами.

### 3.4.3. Водоносный комплекс в отложениях формации Фу Нгы (o-*spn*)

Водоносный комплекс имеет довольно широкое распространение, занимает большую часть территории уезда Чодонь и залегает в направлении с юго-запада на северо-восток. Горные породы в основном представлены терригенными силикатными отложениями. Встречаются карбонатные породы. Состав водовмещающих пород дифференцирован с учётом выделенных двух субформаций: 1) нижняя: 1.1) песчаник и кварцит, песчаный алевролит, кварцевые сланцы серициты с туфогенными песчаниками; 1.2) сланцы и серициты, глинистые сланцы и серициты, песчаные

алевролиты; 2) верхняя: 2.1) включения крупнообломочного материала, песчаный алевролит с песчаником и кварцитом, туфогенный песчаник, сланцы и серициты, известняковые линзы; 2.2) включения крупнообломочного материала, песчаный алевролит с глинистыми сланцами, глинистыми серицитами и с тонкими слоями песчаников, песчаников и кварцитов, сланцев; 2.3) глинистые сланцы и серициты с песчаниками, песчаными алевролитами, глинистыми сланцами.

Глубина подземных вод изменяется в диапазоне от 2,2 до 9,5 м, дебит источников – от 0,01 до 0,8 л/с. Ресурсы подземных вод, приуроченных к этому комплексу, в целом незначительны. Однако в районе совместного размещения тектонических нарушений и населённых пунктов, лишённых иных источников водоснабжения, возможно и даже целесообразно строительство водозаборов, эксплуатирующих рассматриваемый комплекс.

#### **3.4.4. Водоносный горизонт в магматических образованиях**

Водоносный горизонт в магматических образованиях с преобладанием кислых или основных горных пород обнаружен в районе Банглунг в виде небольших, разбросанных по территории блоков, приуроченных к комплексам Фиа Биок, Чодонь и Нуй Чуа. Водоносный горизонт не имеет водохозяйственного значения.

### **3.5. Растительный и почвенный покров**

По экономическим условиям и особенностям почвенно-растительного покрова в пределах северной части Вьетнама выделяются четыре участка: северо-восточный (включает провинцию Бакан, в том числе, и уезд Чодонь); северо-западный; северное побережье; район Ханоя (рис. 3.9).

По фондовым данным, опубликованным в отчёте Департамента природных ресурсов и окружающей среды провинции Баккан «Экологическая ситуация в провинции Бакан в 2010 году», леса занимают около 268165 га (лесистость территории провинции – 55,08%), из них естественные леса – 224030 га, восстановленные – 44135 га. Леса специального назначения расположены на площади 25,58 тыс. га. в пределах национального парка Бабё и двух государственных природных заповедников – Ким Хи и Суан Лак (уезд Чодонь). Площадь защитных лесов, расположенных в верховьях рек, составляет 94,13 тысяч гектаров. Лесозаготовка проводится практически во всех уездах провинции на территории площадью 143,79 га.

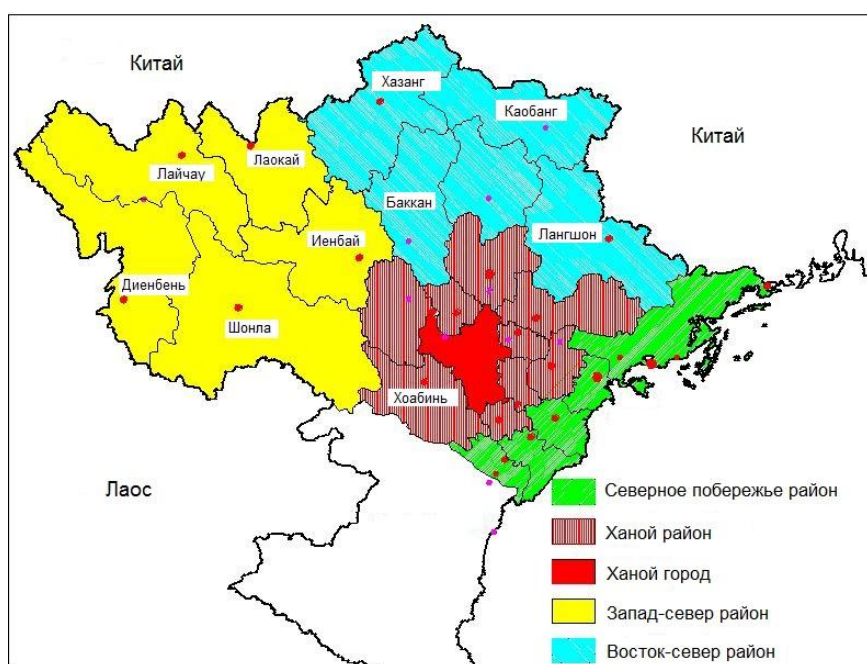


Рисунок 3.9 – Экономическое и природное районирование в Северном Вьетнаме

Флора национального парка Бабё отличается высоким разнообразием, имеющим одновременно коренной и миграционный характер с редкими и эндемическими растительными видами (природоохранными органами условно выделяется четыре группы растений: типичные виды региона Северного Вьетнама и Южного Китая; виды, завезённые из Индии и Мьянмы; редкие виды; местные эндемичные виды). В пределах государственного природного заповедника Ким Хи произрастают многие виды эндемичных и редких растений, в том числе 35 редких видов растений, зарегистрированных в Красной книге Вьетнама (*Parashorea chinensis*, *Cinnamomum parthenoxylon*, *Dalbergia tonkinensis* Prain, *Antidesma acidum*, *Burretiodendron hsienmu*, *Anoectochilus setaceus*, *Madhuca pasquieri*, *Paramichelia braiannesis* и т.д.). Редкие и эндемичные виды растений распространены и природном заповеднике Суан Лак (непосредственно в уезде Чодонь), расположенном в горном районе и отличающемся наличием реликтовых лесов на известняках.

В почвенном покрове рассматриваемой территории, согласно данным Департамента сельского хозяйства провинции Баккан [2014], на территории уезда Чодонь распространены следующие почвы:

1) фералиты (Feralit) жёлто-коричневого цвета, сформированные на известняках и распространённые в северной части уезда Чодонь от коммуны Банглунг до коммуны

Нам Куонг; почвы – рыхлые, с содержанием гумуса в диапазоне от 1,9 до 3,5 % и низким содержанием фосфора; почвы пригодны для ведения сельского хозяйства;

2) фералиты (Feralit) жёлто-красного цвета, сформированные на глинистых сланцах и метаморфических породах и распространённые в низкогорных и холмистых районах в южной части уезда; почвы характеризуются легким суглинистым составом минеральной части и содержанием гумуса в диапазоне 3 – 3,5 %; почвы пригодны для лесного и сельского хозяйства;

3) аллювиальные почвы в долинах водотоков; почвы суглинистые и глинистые; пригодны для ведения сельского хозяйства.

### **3.6. Хозяйственная и природоохранная деятельность**

Большая часть территории уезда Чодонь используется для лесного хозяйства (71,04 %). Леса выполняют в основном защитную функцию, а древесина используется в качестве топлива для местного населения. Земли сельскохозяйственного назначения составляют лишь 5,49 % (земли заняты в основном под рис, частично – под овощные культуры, сою, кукурузу, хлопчатник и арахис), а земли населённых пунктов – 0,53 % (рис. 3.10), в которых проживает около 48,8 тыс. человек, причём основная часть – вдоль провинциальных (257В, 254В, 255В) и уездных дорог (рис. 3.11).

В рамках ориентировочной оценки влияния коммунально-бытовых сточных вод был выполнен расчёт поступления сточных вод и загрязняющих веществ: 1) от населения (коммунально-бытовые сточные воды); 2) с селитебных территорий (дождевой сток с селитебных территорий). В первом случае использованы нормативные значения образования загрязняющих веществ на одного человека согласно [СП 32.13330.2012]: объём сточных вод (в неканализованных населённых пунктах) – 25 л/сут; количество взвешенных веществ – 65 г/сут; количество органических веществ (ОВ) по БПК<sub>5</sub> – 60 г/сут; количество азота общего – 13 г/сут; количество азота аммонийного – 10,5 г/сут; количество фосфора общего – 2,5 г/сут; количество фосфора фосфатов – 1,5 г/сут. Расчёт годового объёма коммунально-бытовых сточных вод выполнен по формуле (3.1), а годового поступления загрязняющих веществ – по формуле (3.2):

$$V_{кб} = N_n \cdot 0,025 \cdot 365, \quad (3.1)$$

$$M_{кб,i} = N_n \cdot m_i \cdot 365 / 1000000, \quad (3.2)$$

где  $V_{кб}$  – объём коммунально-бытовых сточных вод, м<sup>3</sup>/год;  $N_n$  – численность населения, человек;  $M_{кб,i}$  – масса  $i$ -го загрязняющего вещества, т/год;  $m_i$  – норма образования  $i$ -го загрязняющего вещества на одного человека, г/(человек·сут).

Во втором случае, с учётом [СНиП 2.07.01-89\*, прил. 5], принята плотность населения в размере 65 человек на гектар, а расчёт поступления сточных вод и загрязняющих веществ выполнен согласно [Методические указания по расчёту..., 1998]:

$$V_{\partial} = 2,5 \cdot H_{\partial} \cdot k_Q \cdot k_n \cdot N_n \cdot 65 \cdot 10000, \quad (3.3)$$

где  $V_{\partial}$  – объём дождевого стока с селитебных территорий, м<sup>3</sup>/год;  $H_{\partial}$  – слой жидких атмосферных осадков (принят в размере 1,678 м/год по табл. 3.1);  $k_Q$  – коэффициент, учитывающий объём дождевого стока в зависимости от интенсивности дождя (с учётом рекомендаций [Пособие к СНиП 2.05.03-84, 1992] принят по аналогии с районами Дальнего Востока в размере 0,65);  $k_n$  – коэффициент, учитывающий влияние характера поверхности (принят в размере 0,4 с учётом минимального количества асфальтобетонных покрытий в населённых пунктах). Концентрация взвешенных веществ и ОВ по БПК<sub>5</sub> в дождевом стоке с селитебных территорий (с преобладанием индивидуальной застройки и зелёных насаждений) принята согласно [СП 32.13330.2012], концентрации кальция, магния, сульфатов, хлоридов, Fe, Cu, Zn, Ni, соединений азота и фосфора – по [Методические указания по расчёту..., 1998].

Результаты расчёта коммунально-бытовых сточных вод по уезду Чодонь и водосборам рек Та Диенг, Кау, Бантхи, Фо Дай, Дай без учёта притока Фо Дай, приведены в табл. 3.5, результаты расчёта дождевого стока с селитебных территорий – в табл. 3.6, суммарные объём сточных вод и масса загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду от населения и с дождевым стоком с селитебных территорий – в табл. 3.7. Соотношение расходов коммунально-бытовых и дождевых сточных вод, с одной стороны, и расходов речных вод в створах наблюдений, выполненных в 2015-2016 гг., показано на рис. 3.12. Кроме того, по результатам наблюдений, выполненных автором в 2015-2016 гг., по формулам (3.4, 3.5) выполнен расчёт приращения суммы растворённых солей в результате потенциально возможного поступления коммунально-бытовых и дождевых стоков в реки (рис. 3.13):

$$\delta C = 100 \cdot \frac{C_r - C_0}{C_0}, \quad (3.4)$$

$$C_0 = \frac{C_r \cdot (Q + q) - S \cdot q}{Q}, \quad (3.5)$$

где  $\delta C$  – приращение концентрации главных ионов;  $C_r$  – сумма главных ионов в реке (в створе, в пределах которого поступают загрязняющие вещества);  $S$  – концентрация хлоридов, сульфатов, кальция и магния в сточных водах;  $Q$  – измеренный расход воды в реке в том же створе, где определено  $C_r$ ;  $q$  – суммарный расход коммунально-бытовых сточных вод и дождевого стока с селитебных территорий. Формула (3.5) получена из формулы (3.6) среднего взвешенного для суммы главных ионов при допущении, что она сформирована под влиянием коммунально-бытовых сточных вод и дождевого стока с селитебных территорий. Выбор именно суммы главных ионов обусловлен их относительной «консервативностью».

$$C_r \approx \frac{C_r \cdot Q + S \cdot q}{Q + q}. \quad (3.6)$$

Анализ полученных результатов показал, что в целом влияние коммунально-бытовых и дождевых сточных вод на состояние водных объектов на территории уезда Чодонь незначительно и находится в пределах погрешности определения (погрешность измерения расхода воды – 5%, погрешность нормативного расчёта – около 20 % согласно [Мелиорация и водное хозяйство. Т.5. Водное хозяйство, 1988]). Влияние сельского хозяйства (в силу незначительной площади обрабатываемых земель) также не велико. С учётом этого основное антропогенное влияние на химический состав подземных и поверхностных вод района исследования, особенно по содержанию микроэлементов, в настоящее время связывается, прежде всего, с влиянием добычи полезных ископаемых.

Земли, не занятые населёнными пунктами или не предназначенные для сельского и лесного хозяйства, не используются или используются для добычи полезных ископаемых – наиболее важного для уезда вида хозяйственной деятельности. При этом необходимо отметить, что Чодонь является одним из двух основных уездов (наряду с уездом Нганрсон – Нари), где сосредоточены основные минеральные ресурсы в провинции Баккан (железо, свинец, цинк, строительные материалы и др.).

Золото (коренное и россыпи) является потенциальными полезными ископаемыми в провинции Баккан. Проявления и месторождения расположены в основном в восточной части провинции (вдоль реки Кау от уезда Нганшон до Нари). На этом участке насчитываются 17 месторождений и рудных точек, в том числе 7 точек с



коренным золотом и 10 точек с золотоносными россыпями. Прогнозные запасы составляют до 50 т (запасы категории С2 – 5,567 т.).

Свинец и цинк являются важными полезными ископаемыми, характерными именно для провинции Баккан (в основном – на территории уезда Чодонь). Насчитываются 70 свинцово-цинковых точек с общими запасами более чем 4 млн т., в том числе запасы категории В – 108858 т, категории С1 и С2 – 1,7 млн т.

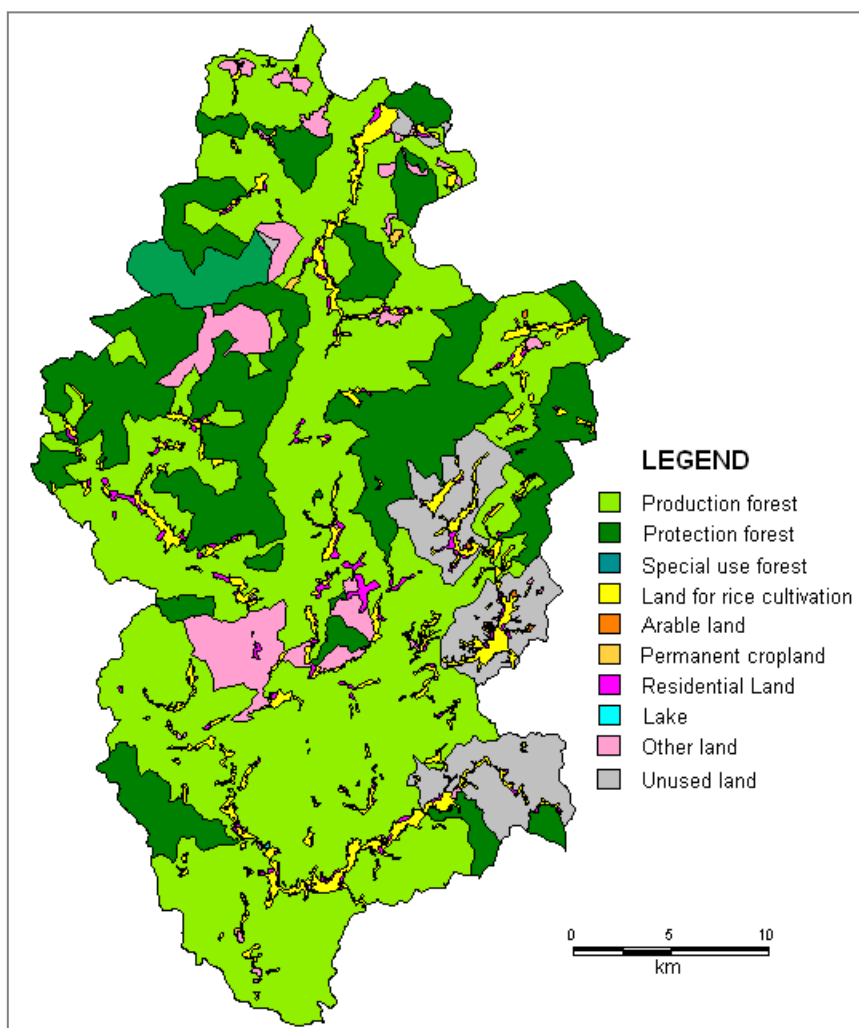


Рисунок 3.10 – Схема землепользования в уезде Чодонь (по материалам Департамента сельского хозяйства провинции Баккан [2014])

Сурьма обнаружены в уездах Чомой и Нари; запасы – незначительные.

Олово (коренное олово в оловянно-полиметаллической форме) обнаружено только в районе На Денг (уезд Нганшон). Залежь имеет вид цепи длиной 30-50-100-200 м и толщиной от нескольких сантиметров до 2 метров. Прогнозные запасы (P2) составляют около 2358 т.

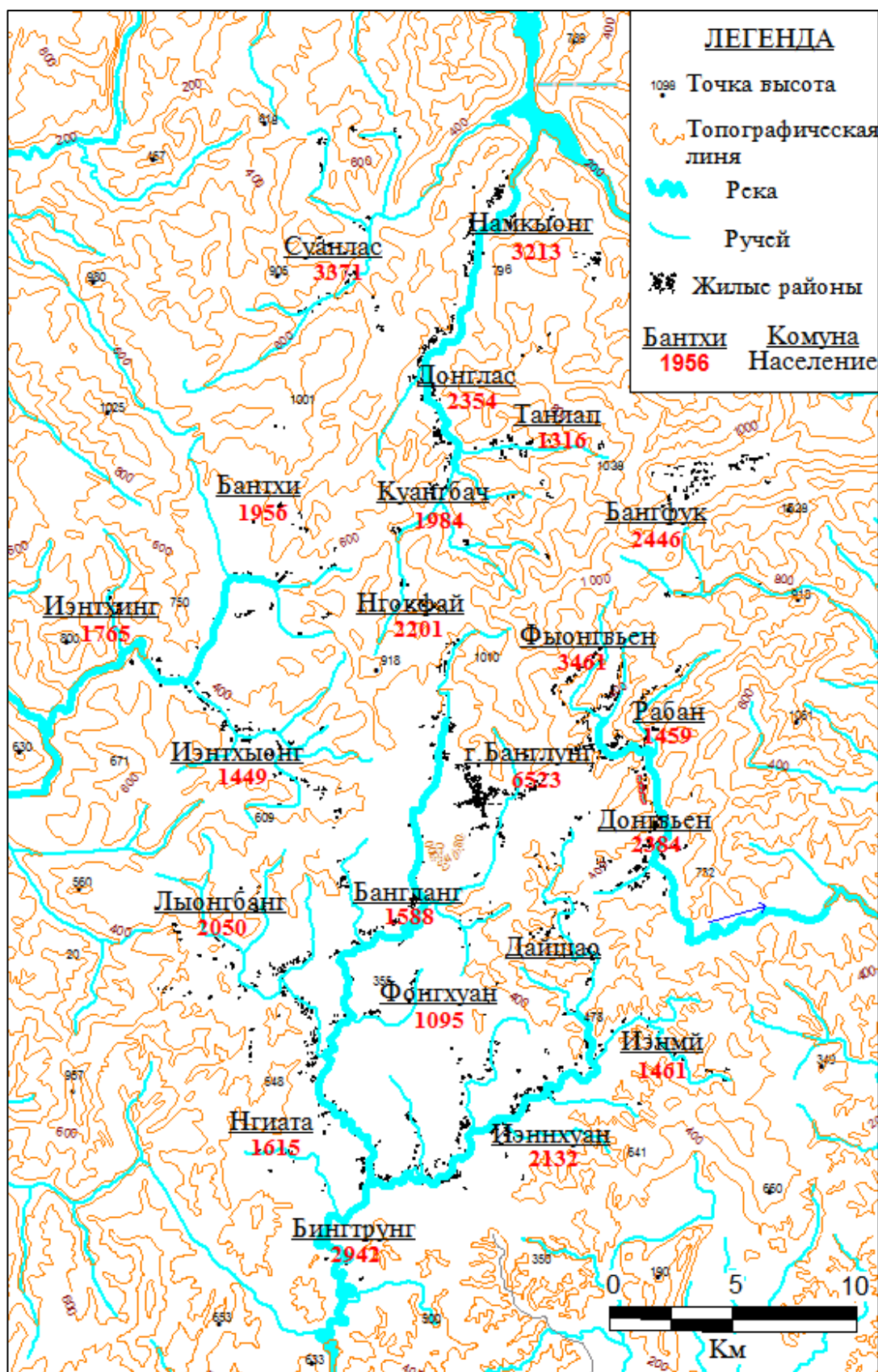


Рисунок 3.11 – Населенные пункты уезда Чодонь

Таблица 3.5 – Объем коммунально-бытовых сточных вод в уезде Чодонь и масса содержащихся в них загрязняющих вещества

Населенный пункт	Водосбор реки	Население, человек	Объем стоков, м <sup>3</sup> /год	Расход стоков, м <sup>3</sup> /с	Масса взвешенных веществ, т/год	Масса ОВ по БПК <sub>5</sub> , т/год	Масса азота общего, т/год	Масса азота аммонийно го, т/год	Масса фосфора общего, т/год	Масса фосфора фосфатов, т/год
Суанлас	Та Диенг	3371	30760	0,0010	79,98	73,82	16,00	12,92	3,08	1,85
Намныонг	Та Диенг	3213	29319	0,0009	76,23	70,36	15,25	12,31	2,93	1,76
Донглас	Та Диенг	2354	21480	0,0007	55,85	51,55	11,17	9,02	2,15	1,29
Танлан	Та Диенг	1316	12009	0,0004	31,22	28,82	6,24	5,04	1,20	0,72
Куангбач	Та Диенг	1984	18104	0,0006	47,07	43,45	9,41	7,60	1,81	1,09
Нгокфай	Та Диенг	2201	20084	0,0006	52,22	48,20	10,44	8,44	2,01	1,21
<i>Всего по водосбору р. Та Диенг</i>		<i>14439</i>	<i>131756</i>	<i>0,0042</i>	<i>342,57</i>	<i>316,21</i>	<i>68,51</i>	<i>55,34</i>	<i>13,18</i>	<i>7,91</i>
Бангфук	Кау	2446	22320	0,0007	58,03	53,57	11,61	9,37	2,23	1,34
Фыонгвьен	Кау	3461	31582	0,0010	82,11	75,80	16,42	13,26	3,16	1,89
Рабан	Кау	1459	13313	0,0004	34,61	31,95	6,92	5,59	1,33	0,80
Донгвьен	Кау	2384	21754	0,0007	56,56	52,21	11,31	9,14	2,18	1,31
<i>Всего по водосбору р. Кау</i>		<i>9750</i>	<i>88969</i>	<i>0,0028</i>	<i>231,32</i>	<i>213,53</i>	<i>46,26</i>	<i>37,37</i>	<i>8,90</i>	<i>5,34</i>
Бантхи	Бан Тхи	1956	17849	0,0006	46,41	42,84	9,28	7,50	1,78	1,07
Иэнтхинг	Бан Тхи	1765	16106	0,0005	41,87	38,65	8,37	6,76	1,61	0,97
Иэнтхыонг	Бан Тхи	1449	13222	0,0004	34,38	31,73	6,88	5,55	1,32	0,79

Населенный пункт	Водосбор реки	Население, человек	Объём стоков, м <sup>3</sup> /год	Расход стоков, м <sup>3</sup> /с	Масса взвешенных веществ, т/год	Масса ОВ по БПК <sub>5</sub> , т/год	Масса азота общего, т/год	Масса азота аммонийно го, т/год	Масса фосфора общего, т/год	Масса фосфора фосфатов, т/год
<i>Всего по водосбору р. Бантхи</i>		<i>5170</i>	<i>47176</i>	<i>0,0015</i>	<i>122,66</i>	<i>113,22</i>	<i>24,53</i>	<i>19,81</i>	<i>4,72</i>	<i>2,83</i>
г. Банглунг	Дай	6523	59522	0,0019	154,76	142,85	30,95	25,00	5,95	3,57
Бангланг	Дай	1588	14491	0,0005	37,68	34,78	7,54	6,09	1,45	0,87
Нгиата	Дай	1615	14737	0,0005	38,32	35,37	7,66	6,19	1,47	0,88
Бингтруг	Дай	2942	26846	0,0009	69,80	64,43	13,96	11,28	2,68	1,61
Льонгбанг	Дай	2050	18706	0,0006	48,64	44,90	9,73	7,86	1,87	1,12
Фонгхуан	Дай	1095	9992	0,0003	25,98	23,98	5,20	4,20	1,00	0,60
Иэнми	Дай (Фо Дай)	1461	13332	0,0004	34,66	32,00	6,93	5,60	1,33	0,80
Иэнхуан	Дай (Фо Дай)	2132	19455	0,0006	50,58	46,69	10,12	8,17	1,95	1,17
<i>Всего по водосбору р.Дай</i>		<i>19406</i>	<i>177080</i>	<i>0,0056</i>	<i>460,41</i>	<i>424,99</i>	<i>92,08</i>	<i>74,37</i>	<i>17,71</i>	<i>10,62</i>
<i>Всего по уезду Чодонь</i>		<i>48765</i>	<i>444981</i>	<i>0,0141</i>	<i>1156,95</i>	<i>1067,95</i>	<i>231,39</i>	<i>186,89</i>	<i>44,50</i>	<i>26,70</i>

Таблица 3.6 – Объем дождевого стока с селитебных территорий в уезде Чодонь и масса содержащихся в них загрязняющих веществ

Населенный пункт	Объем дождевых вод, м <sup>3</sup> /год	Взвешенные вещества, т/год	ОВ по БПК <sub>5</sub> , т/год	Сульфаты, т/год	Хлориды, т/год	N, т/год	Ca, т/год	Mg, т/год	P, т/год	Fe, т/год	Cu, т/год	Ni, т/год	Zn, т/год
Суанлас	283109	170,15	22,69	56,72	113,43	2,78	24,39	4,54	0,61	0,1701	0,0113	0,0057	0,1701
Намныонг	266776	160,33	21,38	53,44	106,89	2,62	22,98	4,28	0,58	0,1603	0,0107	0,0053	0,1603
Донглас	195998	117,80	15,71	39,27	78,53	1,92	16,88	3,14	0,42	0,1178	0,0079	0,0039	0,1178
Танлан	108888	65,44	8,73	21,81	43,63	1,07	9,38	1,75	0,24	0,0654	0,0044	0,0022	0,0654
Куангбач	168776	101,44	13,52	33,81	67,62	1,66	14,54	2,70	0,37	0,1014	0,0068	0,0034	0,1014
Нгокфай	185110	111,25	14,83	37,08	74,17	1,82	15,95	2,97	0,40	0,1113	0,0074	0,0037	0,1113
<i>Всего по водосбору р. Та Диенг</i>	<i>1208657</i>	<i>726,41</i>	<i>96,85</i>	<i>242,14</i>	<i>484,27</i>	<i>11,86</i>	<i>104,12</i>	<i>19,37</i>	<i>2,62</i>	<i>0,7264</i>	<i>0,0484</i>	<i>0,0242</i>	<i>0,7264</i>
Бангфук	206887	124,34	16,58	41,45	82,89	2,03	17,82	3,32	0,45	0,1243	0,0083	0,0041	0,1243
Фыонгвьен	288553	173,42	23,12	57,81	115,61	2,83	24,86	4,62	0,62	0,1734	0,0116	0,0058	0,1734
Рабан	119777	71,99	9,60	24,00	47,99	1,18	10,32	1,92	0,26	0,0720	0,0048	0,0024	0,0720
Донгвьен	201443	121,07	16,14	40,36	80,71	1,98	17,35	3,23	0,44	0,1211	0,0081	0,0040	0,1211
<i>Всего по водосбору р. Кау</i>	<i>816660</i>	<i>490,82</i>	<i>65,44</i>	<i>163,61</i>	<i>327,21</i>	<i>8,02</i>	<i>70,35</i>	<i>13,09</i>	<i>1,77</i>	<i>0,4908</i>	<i>0,0327</i>	<i>0,0164</i>	<i>0,4908</i>
Бантхи	163332	98,16	13,09	32,72	65,44	1,60	14,07	2,62	0,35	0,0982	0,0065	0,0033	0,0982
Иэнтхинг	146999	88,35	11,78	29,45	58,90	1,44	12,66	2,36	0,32	0,0883	0,0059	0,0029	0,0883
Иэнтхыонг	119777	71,99	9,60	24,00	47,99	1,18	10,32	1,92	0,26	0,0720	0,0048	0,0024	0,0720
<i>Всего по водосбору р. Бантхи</i>	<i>430108</i>	<i>258,50</i>	<i>34,47</i>	<i>86,17</i>	<i>172,33</i>	<i>4,22</i>	<i>37,05</i>	<i>6,89</i>	<i>0,93</i>	<i>0,2585</i>	<i>0,0172</i>	<i>0,0086</i>	<i>0,2585</i>
г. Бангланг	544440	327,21	43,63	109,07	218,14	5,34	46,90	8,73	1,18	0,3272	0,0218	0,0109	0,3272
Бангланг	130666	78,53	10,47	26,18	52,35	1,28	11,26	2,09	0,28	0,0785	0,0052	0,0026	0,0785
Нгиата	136110	81,80	10,91	27,27	54,54	1,34	11,73	2,18	0,29	0,0818	0,0055	0,0027	0,0818

Населенный пункт	Объем дождевых вод, м <sup>3</sup> /год	Взвешенные вещества, т/год	ОВ по БПК <sub>5</sub> , т/год	Сульфаты, т/год	Хлориды, т/год	N, т/год	Ca, т/год	Mg, т/год	P, т/год	Fe, т/год	Cu, т/год	Ni, т/год	Zn, т/год
Бингтунг	244998	147,24	19,63	49,08	98,16	2,40	21,11	3,93	0,53	0,1472	0,0098	0,0049	0,1472
Льонгбанг	174221	104,71	13,96	34,90	69,80	1,71	15,01	2,79	0,38	0,1047	0,0070	0,0035	0,1047
Фонгхуан	92555	55,63	7,42	18,54	37,08	0,91	7,97	1,48	0,20	0,0556	0,0037	0,0019	0,0556
Иэнми	119777	71,99	9,60	24,00	47,99	1,18	10,32	1,92	0,26	0,0720	0,0048	0,0024	0,0720
Иэнхуан	179665	107,98	14,40	35,99	71,99	1,76	15,48	2,88	0,39	0,1080	0,0072	0,0036	0,1080
<i>Всего по водосбору р.Дай</i>	<i>1622431</i>	<i>975,09</i>	<i>130,01</i>	<i>325,03</i>	<i>650,06</i>	<i>15,93</i>	<i>139,76</i>	<i>26,00</i>	<i>3,51</i>	<i>0,9751</i>	<i>0,0650</i>	<i>0,0325</i>	<i>0,9751</i>
<i>Всего</i>	<i>4077856</i>	<i>2450,80</i>	<i>326,77</i>	<i>816,93</i>	<i>1633,9</i>	<i>40,03</i>	<i>351,28</i>	<i>65,35</i>	<i>8,82</i>	<i>2,4508</i>	<i>0,1634</i>	<i>0,0817</i>	<i>2,4508</i>

Таблица 3.7 – Объём коммунально-бытовых сточных вод и дождевого стока с селитебных территорий в уезде Чодонь и общая масса содержащихся в них загрязняющих веществ

Населенный пункт	Расход стоков, м <sup>3</sup> /с	Взвешенные вещества, т/год	ОВ по БПК <sub>5</sub> , т/год	Сульфаты, т/год	Хлориды, т/год	N, т/год	Ca, т/год	Mg, т/год	P, т/год	Fe, т/год	Cu, т/год	Ni, т/год	Zn, т/год
Суанлас	0,0100	250,1	96,5	56,72	113,43	18,77	24,39	4,54	3,69	0,170	0,011	0,006	0,170
Намныонг	0,0094	236,6	91,7	53,44	106,89	17,86	22,98	4,28	3,51	0,160	0,011	0,005	0,160
Донглас	0,0069	173,6	67,3	39,27	78,53	13,09	16,88	3,14	2,57	0,118	0,008	0,004	0,118
Танлан	0,0038	96,7	37,5	21,81	43,63	7,31	9,38	1,75	1,44	0,065	0,004	0,002	0,065
Куангбач	0,0059	148,5	57,0	33,81	67,62	11,07	14,54	2,70	2,18	0,101	0,007	0,003	0,101
Нгокфай	0,0065	163,5	63,0	37,08	74,17	12,26	15,95	2,97	2,41	0,111	0,007	0,004	0,111

Населенный пункт	Расход стоков, м <sup>3</sup> /с	Взвешенные вещества, т/год	ОВ по БПК <sub>5</sub> , т/год	Сульфаты, т/год	Хлориды, т/год	N, т/год	Ca, т/год	Mg, т/год	P, т/год	Fe, т/год	Cu, т/год	Ni, т/год	Zn, т/год
<i>Всего по водосбору р. Та Диенг</i>	<i>0,0425</i>	<i>1069,0</i>	<i>413,1</i>	<i>242,14</i>	<i>484,27</i>	<i>80,38</i>	<i>104,12</i>	<i>19,37</i>	<i>15,79</i>	<i>0,726</i>	<i>0,048</i>	<i>0,024</i>	<i>0,726</i>
Бангфук	0,0073	182,4	70,1	41,45	82,89	13,64	17,82	3,32	2,68	0,124	0,008	0,004	0,124
Фыонгвьен	0,0102	255,5	98,9	57,81	115,61	19,25	24,86	4,62	3,78	0,173	0,012	0,006	0,173
Рабан	0,0042	106,6	41,6	24,00	47,99	8,10	10,32	1,92	1,59	0,072	0,005	0,002	0,072
Донгвьен	0,0071	177,6	68,4	40,36	80,71	13,29	17,35	3,23	2,61	0,121	0,008	0,004	0,121
<i>Всего по водосбору р. Кау</i>	<i>0,0287</i>	<i>722,1</i>	<i>279,0</i>	<i>163,61</i>	<i>327,21</i>	<i>54,28</i>	<i>70,35</i>	<i>13,09</i>	<i>10,66</i>	<i>0,491</i>	<i>0,033</i>	<i>0,016</i>	<i>0,491</i>
Бантхи	0,0057	144,6	55,9	32,72	65,44	10,88	14,07	2,62	2,14	0,098	0,007	0,003	0,098
Иэнтхинг	0,0052	130,2	50,4	29,45	58,90	9,82	12,66	2,36	1,93	0,088	0,006	0,003	0,088
Иэнтхыонг	0,0042	106,4	41,3	24,00	47,99	8,05	10,32	1,92	1,58	0,072	0,005	0,002	0,072
<i>Всего по водосбору р. Бантхи</i>	<i>0,0151</i>	<i>381,2</i>	<i>147,7</i>	<i>86,17</i>	<i>172,33</i>	<i>28,75</i>	<i>37,05</i>	<i>6,89</i>	<i>5,65</i>	<i>0,258</i>	<i>0,017</i>	<i>0,009</i>	<i>0,258</i>
г. Банглунг	0,0192	482,0	186,5	109,07	218,14	36,30	46,90	8,73	7,13	0,327	0,022	0,011	0,327
Бангланг	0,0046	116,2	45,2	26,18	52,35	8,82	11,26	2,09	1,73	0,079	0,005	0,003	0,079

Населенный пункт	Расход стоков, м <sup>3</sup> /с	Взвешенные вещества, т/год	ОВ по БПК <sub>5</sub> , т/год	Сульфаты, т/год	Хлориды, т/год	N, т/год	Ca, т/год	Mg, т/год	P, т/год	Fe, т/год	Cu, т/год	Ni, т/год	Zn, т/год
Нгиата	0,0048	120,1	46,3	27,27	54,54	9,00	11,73	2,18	1,77	0,082	0,005	0,003	0,082
Бингтрунг	0,0086	217,0	84,1	49,08	98,16	16,36	21,11	3,93	3,21	0,147	0,010	0,005	0,147
Лыонгбанг	0,0061	153,3	58,9	34,90	69,80	11,44	15,01	2,79	2,25	0,105	0,007	0,003	0,105
Фонгхуан	0,0033	81,6	31,4	18,54	37,08	6,10	7,97	1,48	1,20	0,056	0,004	0,002	0,056
Иэнми	0,0042	106,6	41,6	24,00	47,99	8,11	10,32	1,92	1,59	0,072	0,005	0,002	0,072
Иэнхуан	0,0063	158,6	61,1	35,99	71,99	11,88	15,48	2,88	2,33	0,108	0,007	0,004	0,108
<i>Всего по водосбору р.Дай</i>	<i>0,0571</i>	<i>1435,5</i>	<i>555,0</i>	<i>325,03</i>	<i>650,06</i>	<i>108,0</i>	<i>139,76</i>	<i>26,00</i>	<i>21,22</i>	<i>0,975</i>	<i>0,065</i>	<i>0,033</i>	<i>0,975</i>
<i>Всего</i>	<i>0,1434</i>	<i>3607,8</i>	<i>1394,7</i>	<i>816,93</i>	<i>1633,9</i>	<i>271,4</i>	<i>351,28</i>	<i>65,35</i>	<i>53,32</i>	<i>2,451</i>	<i>0,163</i>	<i>0,082</i>	<i>2,451</i>



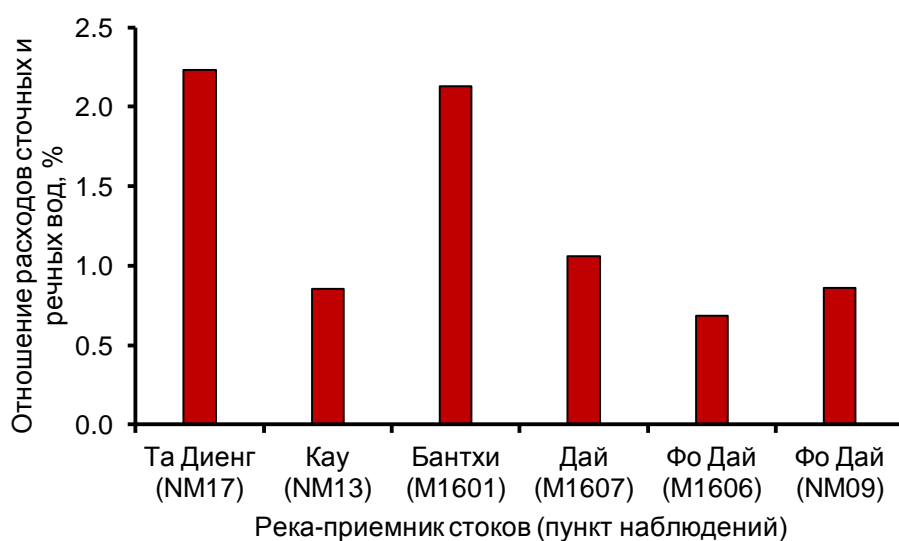


Рисунок 3.12 – Отношение расхода коммунально-бытовых и дождевых сточных вод к расходу речных вод по рекам Та Диенг, Кау, Бантхи, Дай, Фо Дай

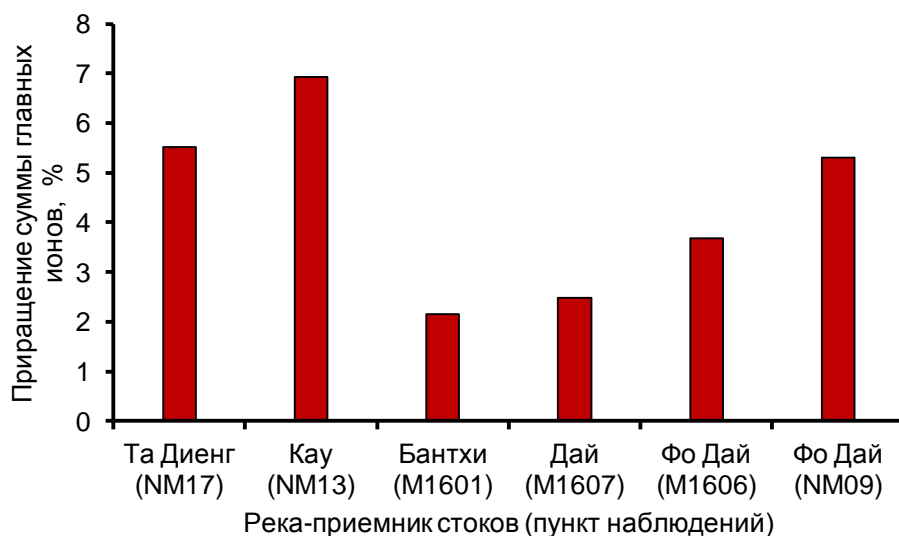


Рисунок 3.13 – Расчётное приращение содержания главных ионов в водах рек Та Диенг, Кау, Бантхи, Дай, Фо Дай в результате поступления коммунально-бытовых и дождевых сточных вод без учёта самоочищения (по формулам (3.4, 3.5))

Железные и железо-марганцевые руды приурочены в основном к коре выветривания и обнаружены на 15 участках в уездах Нганшон, Чодонь и Бабе. Требуется проведение геолого-разведочных работ. При возникновении спроса уезд

Чодонь потенциально может стать важным районом добычи железной руды в рамках всего Вьетнама.

Потенциал неметаллических полезных ископаемых провинции Баккан довольно значителен: глины для производства кирпича в На Ты (город Чо Ра) и цемента в Иен Минь (уезд Чомой); известняк в селениях Бан Луок, Бан Кат, Фиен Лиен (уезд Чодонь), в Нам Као (уезд Бать Тхонг), в Бан Кам, На Хен, Поу Манн, Чо Ра (уезд Чо Ра); графит в Као Ки (уезд Чомой), Фиен Зе (уезд Бать Тхонг), На Ланг (уезд Чо Ра). Имеется также потенциал для добычи мраморов, гранитов и др.

Драгоценные и полудрагоценные камни обнаружены на территории уездов Бабе и Чодонь. Сапфировые россыпи и коренной сапфир встречаются в селениях Бан Лом, Кео Мо, Бан Куа, Бан Дуонг и Бан Ванг; рубин и коренной сапфир обнаружены на севере селения Бан лом и северо-западе селения Бан Дуонг. Полудрагоценные камни встречены в Као Баи и на востоке селения На Ко.

Таблица 3.8 – Некоторые основные полезные ископаемые в провинции Баккан и их административное размещение

Полезное ископаемое	Распределение
Свинец и цинк	Чодонь (Чодиен) – Нганшон
Золото	Нганшон (Пакланг) – Чомой (Кхангау) – Бачтхонг (Вумуон)
Сурьма	Чомой
Олово	Чодонь – Нганшон
Железо и марганец	Чодонь (Чодиен) – Бабе (Баннунг) – Нганшон (Лунгвиен, Банфанг, Наной, Мосат) – Вачтхонг (Шибинг)
Известняк	Чодонь (Банкат, Банлюок, Фиенлиенг) – Бачтхонг (Намлао)
Драгоценные камни	Бабе (Бандуонг, Банванг)

В настоящее время наибольшее внимание уделяется добыче свинцово-цинковых руд в пределах двух основных рудных полей в северной и южной частях уезда Чодонь. В северной части уезда (преимущественно в бассейне реки Бантхи ) расположены рудники Фиа Кхао, Бопен, La Pointe, Лунг Хоай, Део Ан, Бинь Чай, в южной (преимущественно в бассейне реки Дай) – На Тум, Бо Хо, На Куан, На Моон, На Боп, Лунг Ванг, Кео Лек (рис. 3.14 – 3.17).

Свинцово-цинковые руды в северной части уезда распространены в основном в пределах антиклинали Фип Кхао в карбонатных породах и характеризуются более высоким содержанием Zn по сравнению с Pb. В южной части уезда может наблюдаться

разное соотношение Zn и Pb. При этом рудопроявления часто приурочены к тектоническим нарушениям. Балансовые запасы в пределах Чодонь составляют около 13 млн т свинцово-цинковых руд, в том числе запасы: окисленных руд – 229,059 т с содержанием Pb+Zn 18,41 %; сульфидных – 116,936 т с содержанием Pb+Zn 15,88 %.

В целом, в провинции Баккан, в целом, и в уезде Чодонь, в частности, имеется значительный потенциал для добычи полезных ископаемых. Прежде всего, это – свинцово-цинковые руды, золото, железные руды и строительные материалы. Однако требуется дальнейшее проведение поисковых и геолого-разведочных работ.



Рис. 3.14. Рудник Лунг Хоай (фото Нгуен В.Л., 2016)

Необходимо отметить, что уезд Чодонь характеризуется наличием благоприятных условий для развития туризма. Здесь проживают вместе семь этнических групп (Хмонг, Зяо, Нунг, Таи, китайцы, Кинь (Вьетнамцы), Сан Чи), каждая из которых обладает комплексом ярких и самобытных культурных традиций. Также в уезде имеются исторические памятники.



Рис. 3.15. Рудник Бинь Чай (фото Нгуен В.Л., 2012)



Рис. 3.16. Обогащительная фабрика На Боп, южная часть Чодонь  
(<http://www.baobackan.org.vn>)



Рис. 3.17. Рудник Лунг Ванг (добыча окисленных руд), южная часть Чодонь  
(<http://www.baobackan.org.vn>)

Важная роль в развитии туризма и охраны природы отводится территориям национального парка Бабе и двух государственных природных заповедников – Ким Хи и юге Суан Лак (уезд Чодонь). Ниже приведены основные сведения о национальном парке и заповедниках.

*Национальный парк Бабе, уезд Бабе.* Парк находится в 240 км от Ханоя, в 61 км от Баккана и в 18 км от Тёры, в горном районе (наибольшие высотные отметки превышают 1 км над уровнем моря). Национальный парк отличается высоким уровнем биоразнообразия и считается очень привлекательным местом для туристов, а также является важным объектом научных исследований. По территории парка протекает река Нанг, которая несёт свои воды из Китая, принимает сток из озера Бабе (большое природное озеро с площадью акватории 500 га), а затем впадает в реку Ло. Одна из достопримечательностей парка – пещера Пуонг длиной 300 метров и высотой 40 м, сформированная под воздействием вод у подножия горы Лунгням. Также на реке Нанг в 3 км от озера Бабе находится каскад водопадов Даузанг. Прозрачные воды озера и красноватые воды реки легко различимы, а на месте их слияния стоит пост смотрителей парка из белого кирпича.

*Природный заповедник Ким Хи.* Природный заповедник Ким Хи в провинции Баккан расположен на площади более 14 тыс. га и предназначен для охраны целого ряда редких видов животных и растений. Среди них необходимо отметить Тонкинских гульманов, которые в настоящее время находятся под угрозой полного исчезновения, китайскую курносую обезьяну (*Rhinopithecus roxellana*), кабаргу Березовского, черного лангура, красного волка, тигров, черепах *Suora amboinensis kamaroma* и др. Также следует отметить Плаун булавовидный (*Lycopodium clavatum*), который в настоящее время остался только в четырёх северных горных провинциях Вьетнама и двух провинциях Китая (Гуанси, Гуандун), Парашореей (*Parashorea stellata*), Лавровые (*Cinnamomum parthenoxylon*), Дальбергия (*Dalbergia tonkinensis Prain*), Антидесма свербиговая (*Antidesma acidum*), *Burretiodendron hsienmu*, Анектохилус (*Anoectochilus setaceus*), Мадука (*Madhuca pasquieri*), Парамикелия (*Paramichelia braiannesis*).

Заповедник Суан Лак расположен в уезде Чодонь и является местом распространения первобытных известняковых лесов. Благодаря изолированному положению на его территории сохранились множество редких животных и растительных видов (лангуры, кабаны и медведи).

## **4. Общая характеристика эколого-геохимического состояния водных объектов в уезде Чодонь провинции Баккан**

### **4.1. Подземные воды**

Анализ имеющихся данных показал, что изученные подземные воды по условиям залегания – грунтовые; в соответствии с классификациями О.А. Алёкина [1970] по минерализации – «пресные» со средней и реже – малой минерализацией, по химическому составу – гидрокарбонатные кальциевые I, II и III типов; по величине рН – слабокислые и нейтральные; по жёсткости – от очень мягких до умеренно жёстких (табл. 4.1–4.4). Воды содержат незначительное количество органических веществ по перманганатной окисляемости. В ряде случаев выявлено превышение нормативов хозяйственно-питьевого водоснабжения, установленных по величине рН и содержанию Mn, Si, Al. При этом необходимо отметить, что установлено статистически значимое (при уровне значимости 5 %) различие выборок содержаний  $\text{NO}_3^-$ , Zn, Mn, As в подземных водах в водосборах рек Бантхи и Дай по дисперсии [Савичев, Нгуен, 2015с]. Этот факт объясняется, видимо, как наличием ореолов техногенного рассеяния, сформировавшихся при добыче свинцово-цинковых руд (рис. 4.1–4.5; табл. 4.4), так и окислением сульфидов на участках тектонических нарушений (особенно в местах сопряжения с речной сетью; рис. 4.6) и более высоким природным «фоновым» содержанием ряда химических элементов в горных породах и подземных водах, которые с ними взаимодействуют.

Наиболее высокие концентрации изученных микроэлементов часто отмечаются в месяцы с максимальным атмосферным увлажнением (с мая по октябрь), хотя имеются и определённые отличия, связанные с приуроченностью к первой или второй половине периода дождей. Объём имеющихся данных не очень велик (до 46 проб). Тем не менее, можно сделать вывод, что в первом случае (в начале периода дождей) в подземных водах района исследований наиболее вероятно обнаружение повышенных концентраций Cu, Cd, Pb, а во втором – Zn (рис. 4.7), Mn, Hg, As.

Таблица 4.1 – Средние значения рН, удельной электропроводности, суммы растворённых веществ, концентраций соединений азота и железа в подземных водах и глубины пробоотбора в уезде Чодонь провинции Баккан за 2010-2016 гг.

Территория	Показатель	рН, ед. рН	УЭП, мкС/см	$\Sigma_{mi}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$\text{NH}_4^+$ , мг/дм <sup>3</sup>	$\text{NO}_2^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	$\text{NO}_3^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	Fe, мг/дм <sup>3</sup>	Глубина пробоотбора, м
Водосбор р. Бантхи	<i>A</i>	6.71	280	251.2	0.078	0.010	5.285	0.115	20.29
	<i>G</i>	6.67	268	240.7	0.039	0.008	3.976	0.083	16.92
	$\sigma$	0.76	88	78.2	0.093	0.006	3.582	0.105	11.82
	<i>N</i>	21	15	15	6	6	6	6	7
Водосбор р. Дай	<i>A</i>	6.72	354	321.6	0.049	0.009	4.267	0.174	17.00
	<i>G</i>	6.68	314	281.3	0.026	0.008	1.761	0.142	12.77
	$\sigma$	0.73	217	207.9	0.067	0.004	7.365	0.101	13.12
	<i>N</i>	23	17	17	11	11	11	11	9
Уезд Чодонь в целом	<i>A</i>	6.73	320	286.5	0.062	0.010	4.907	0.148	19.7647
	<i>G</i>	6.69	290	260.2	0.032	0.008	2.539	0.112	15.3615
	$\sigma$	0.72	170	158.6	0.074	0.005	6.110	0.103	13.0804
	<i>N</i>	46	34	34	18	18	18	18	17
ПДК <sub>хлв-РФ</sub> [ГН 2.1.5.1315-03; СанПиН 2.1.4.1074-01]		6–9	–	1000	1.93	3.3	45	0.3	–
ПДК <sub>хлв-Вьетнам</sub> [QCVN 01:2009/ВУТ]		6.5–8.5	–	1000	3	3	50	0.3	–

Примечание:  $A$  – среднее арифметическое;  $G$  – среднее геометрическое;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение;  $N$  – количество проб; ПДК<sub>хпв-Вьетнам</sub> – предельно допустимая концентрация вещества в водах объектов хозяйственно-питьевого назначения на территории Вьетнама

Таблица 4.2 – Физико-химические и геохимические показатели подземных вод в уезде Чодонь провинции Баккан в 2015–2016 гг.

Показатель	Номер пробы (рис. 2.2)									
	NN-01	NN-02	NN-03	NN-05	NN-06	N1601	N1602	N1603	N1604	N1605
Дата отбора	14.02. 2015	14.02. 2015	15.02. 2015	15.02. 2015	16.02. 2015	19.02. 2016	19.02. 2016	20.02. 2016	20.02. 2016	20.02. 2016
Населённый пункт	Бантхи	Бантхи	Нгиа Та	Иэен Нхуан	Нам Кыонг	Хоптень	Фокау	Вангкуан	Банлас	Бангланг
Возраст отложений	$aQ$	$D_{1-2}$	$D_{1-2}$	$D_{1-2}$	$D_{1-2}$	$D_{1-2}$	$D_{1-2}$	$D_{1-2}$	$D_{1-2}$	$Q$
Глубина отбора, м	7.5	30.0	16.0	13.0	41.0	30	22	30	22	10
$L(r-min)$ , км	0,8	1,5	2,4	1,4		(0,04)	3,3	0,5	3,5	0,3
$L(\Phi)$ , км	0,3	2,0	10,5	11,6		0,9	4,6	14,0	11,9	9,2
pH, ед. pH	7.30	7.30	7.10	6.90	6.90	7.29	7.42	6.62	6.67	6.62
УЭП, мкС/см	425	412	337	151	371	393	418	388	161	368
мг/дм <sup>3</sup>										



Показатель	Номер пробы (рис. 2.2)									
	NN-01	NN-02	NN-03	NN-05	NN-06	N1601	N1602	N1603	N1604	N1605
$\Sigma_{mi}$	393.4	366.8	300.2	130.0	327.3	341.9	366.6	342.5	136.8	286.9
$Ca^{2+}$	87.0	86.0	55.0	18.5	70.0	83.0	89.5	70.7	23.4	62.0
$Mg^{2+}$	5.5	5.5	10.0	5.5	6.2	5.3	4.9	9.0	6.0	9.2
$Na^+$	3.6	2.8	7.0	6.2	2.4	1.9	3.0	7.5	4.0	8.8
$K^+$	3.4	1.6	1.5	2.0	2.6	1.3	0.9	1.9	2.0	1.2
$HCO_3^-$	276.0	258.0	219.0	93.0	232.0	238.0	257.4	229.4	97.6	182.0
$SO_4^{2-}$	14.4	9.8	2.2	1.3	7.5	10.6	6.4	10.3	0.8	4.2
$Cl^-$	3.5	3.1	5.5	3.5	6.6	1.8	4.5	13.8	3.0	19.5
$Si$	4.76	5.06	10.83	17.99	7.19	4.14	5.11	25.00	14.36	3.50
$NH_4^+$	0.140	0.240	0.240	0.090	0.110	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
$NO_2^-$	0.010	0.021	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
$NO_3^-$	10.270	7.000	4.360	3.120	9.670	3.630	7.600	0.050	3.800	26.100
$PO_4^{3-}$	0.025	0.025	0.056	0.127	0.078	0.025	0.080	0.025	0.025	0.025
$F^-$	0.017	0.010	0.180	0.100	0.070	0.050	0.073	0.170	0.210	0.060
$Fe$	0.050	0.040	0.090	0.130	0.050	0.05	0.05	0.09	0.06	0.03
$Zn$	0.0180	0.0160	0.0200	0.0067	0.0920	0.0220	0.0099	0.0034	0.0789	0.0025
$Cd$	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001	0.0004	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
$Pb$	0.0009	0.0012	0.0011	0.0003	0.0007	0.0009	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
$Cu$	0.0027	0.0011	0.0140	0.0013	0.0620	0.0008	0.0017	0.0005	0.0120	0.0004

Показатель	Номер пробы (рис. 2.2)									
	NN-01	NN-02	NN-03	NN-05	NN-06	N1601	N1602	N1603	N1604	N1605
Al	0.0630	0.0380	1.0500	0.0510	0.0990	0.0016	0.0002	0.0002	0.0003	0.0008
As	нд	нд	нд	нд	нд	0.00750	0.00112	0.00025	0.00003	0.00050
Ti	нд	нд	нд	нд	нд	0.00016	0.00030	0.00054	0.00040	0.00014
V	нд	нд	нд	нд	нд	0.00012	0.00022	0.00002	0.00011	0.00008
Mn	нд	нд	нд	нд	нд	0.0127	0.0005	0.4810	0.0257	0.0007
Co	нд	нд	нд	нд	нд	0.00002	0.00002	0.00093	0.00029	0.00005
Ni	нд	нд	нд	нд	нд	0.00003	0.00007	0.00040	0.00330	0.00026
Cs	нд	нд	нд	нд	нд	0.000194	0.000184	0.000948	0.000026	0.000098
Ba	нд	нд	нд	нд	нд	0.006343	0.013702	0.015564	0.002463	0.038126
La	нд	нд	нд	нд	нд	0.000008	0.000012	0.000014	0.000008	0.000150
Ce	нд	нд	нд	нд	нд	0.000010	0.000003	0.000017	0.000007	0.000004
ПО, мгО/дм <sup>3</sup>	0.12	0.50	0.28	0.08	0.08	0.32	0.125	0.125	0.125	0.125

Примечания: *aQ* – аллювиальные отложения четвертичного возраста; *Q* – отложения четвертичного возраста; *D<sub>1-2</sub>* – отложения девона нижнего и среднего девона; нд – нет данных; *L(r-min)* – минимальное расстояние от пункта отбора пробы до тектонических нарушений; *L(Ф)* – расстояние до ближайшей горнообогатительной фабрики

Таблица 4.3 – Средние значения концентраций микроэлементов в подземных водах в уезде Чодонь провинции Баккан за 2010-2016 гг.

Территория	Показатель	Zn	Cd	Pb	Cu	Mn	Hg	As
Водосбор р. Бан Тхи	<i>A</i>	0.5941	0.00033	0.0012	0.0077	0.1243	0.00009	0.0044
	<i>G</i>	0.0802	0.00012	0.0010	0.0033	0.0310	0.00005	0.0031
	$\sigma$	1.2677	0.00076	0.0008	0.0114	0.2643	0.00005	0.0040
	<i>N</i>	21	21	21	6	17	19	19
Водосбор р. Дай	<i>A</i>	0.1444	0.00043	0.0012	0.0088	0.1898	0.00006	0.0035
	<i>G</i>	0.0213	0.00011	0.0005	0.0041	0.0434	0.00002	0.0015
	$\sigma$	0.4938	0.00080	0.0011	0.0079	0.4282	0.00005	0.0066
	<i>N</i>	23	23	23	11	15	21	21
Уезд Чодонь в целом	<i>A</i>	0.3489	0.0004	0.0012	0.0114	0.1509	0.0001	0.0038
	<i>G</i>	0.0421	0.0001	0.0007	0.0044	0.0357	0.0000	0.0021
	$\sigma$	0.9408	0.0008	0.0009	0.0153	0.3417	0.0000	0.0054
	<i>N</i>	46	46	46	18	33	41	41
ПДК <sub>хпв-РФ</sub> [ГН 2.1.5.1315-03; СанПиН 2.1.4.1074-01]		1.0	0.001	0.01	1.0	0.1	0.0005	0.01
ПДК <sub>хпв-Вьетнам</sub> [QCVN 01:2009/ВУТ]		3	0.003	0.01	1.0	0.3	0.001	0.01

Подобное внутригодовое распределение объясняется усилением водообмена в верхней гидродинамической зоне по мере выпадения интенсивных атмосферных осадков. В свою очередь, скорость водообмена регулирует общее время взаимодействия в системе «вода – порода» и количества выносимых из этой системы относительно устойчивых (при определённых условиях) продуктов химических реакций, образующих «защитный слой» [Гаррелс, Крайст, 1968; Lerman, 1979; Дриверо, 1985; Lasaga, 1995; Grenthe, Puigdomenech, 1997; Шварцев, 1998].

Таблица 4.4 – Физико-химические и геохимические показатели подземных вод в уезде Чодонь в 2010 г. [Нгуен Хонг Куанг, 2010]

Номер пробы	Место отбора	Показатель								
		pH	TDS, мг/дм <sup>3</sup>	УЭП, мкС/см	As	Mn	Zn	Hg	Pb	Cd
					мг/дм <sup>3</sup>					
VH.17	Карстовая пещера в к.Нгокфай	6,7	232,0	362	0,001	0,01	0,01	<0,0001	0,001	<0,0001
КН.30	Рудник Натум	6,9	203,0	317	0,001	0,09	0,08	0,0001	0,001	<0,0001
КН.34	Колодец в г.Банглунг	5,8	253,0	297	0,002	0,04	0,02	0,0001	0,001	<0,0001
КН.47	Колодец в г.Банглунг	5,1	124,0	257	0,005	0,02	0,1	<0,0001	0,001	<0,0001
КН.62	Колодец в г.Банглунг	6,8	330,0	564	0,001	0,03	0,04	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.70	Колодец в г.Банглунг	5,7	195,0	263	0,031	0,04	0,02	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.80	Рудник Банглунг	5,9	213,0	326	0,008	0,01	0,29	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.87	Карстовая пещера в г.Банглунг	5,9	156,0	467	0,004	0,02	0,14	<0,0001	0,001	<0,0001
КН.95	Рудник Накием	5,9	867,0	1087	0,003	1,67	2,39	<0,0001	0,001	<0,0001
VH.112	Колодец в г.Банглунг	5,8	195,0	297	0,001	0,24	0,01	<0,0001	0,001	<0,0001
VH.114	Колодец в г.Банглунг	5,8	88,2	195	0,001	0,06	<0,01	<0,0001	0,001	<0,0001
VH.118	Колодец в г.Банглунг	6,3	97,0	189	0,002	0,11	0,05	<0,0001	0,002	<0,0001
КН.125	Колодец в к.Бантхи	5,7	109,4	167	0,001	0,03	0,03	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.128	Колодец в к.Бантхи	5,9	203,0	257	0,001	0,03	0,02	0,0001	<0,001	<0,0001
КН.135	Колодец в к.Бантхи	5,7	189,0	250	0,002	<0,01	0,03	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.143	Колодец в к.Бантхи	6,2	126,0	286	0,002	0,01	0,03	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.146	Колодец в к.Бантхи	6,1	134,0	264	0,007	0,02	0,05	<0,0001	<0,001	<0,0001

Номер пробы	Место отбора	Показатель								
		рН	TDS, мг/дм <sup>3</sup>	УЭП, мкС/см	As	Mn	Zn	Hg	Pb	Cd
КН.155	Скважина в к.Бантхи	7,6	198,8	258	0,002	0,01	0,09	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.160	Колодец в к.Бантхи	5,6	196,0	232	0,005	0,01	0,06	0,0001	<0,001	<0,0001
КН.162	Колодец в к.Бантхи	6,1	178,0	212	0,01	0,16	0,27	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.181	Колодец в к.Донглас	7,3	228,0	198	0,001	0,02	0,16	0,0001	<0,001	<0,0001
КН.315	Колодец в к.Куангбач	7,5	111,0	120	0,004	<0,01	0,15	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.319	Колодец в к.Куангбач	6,7	213,0	–	0,009	1,1	0,88	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.324	Колодец в к.Куангбач	7,0	362,0	210	0,016	0,27	4,14	0,0002	<0,001	<0,0001
КН.349	Колодец в к.Бантхи	7,2	218,0	200	0,005	0,21	3,72	0,0001	<0,001	<0,0001
КН.350	Колодец в к.Бантхи	6,8	125,0	212	0,003	0,14	2,77	<0,0001	0,001	<0,0001
КН.356	Колодец в к.Бантхи	–	–	–	0,002	0,03	0,64	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.357	Колодец в к.Бантхи	–	–	–	0,001	0,04	0,69	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.361	Колодец в к.Бантхи	–	–	–	0,006	0,08	0,91	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.363	Колодец в к.Бантхи	–	–	–	<0,001	<0,01	0,34	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.374	Колодец в к.Куангбач	–	–	–	<0,001	0,01	0,02	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.383	Колодец в к.Донглас	–	–	–	0,001	0,01	1,28	<0,0001	<0,001	<0,0001

Примечание: TDS – сумма растворённых солей, вычислена по удельной электропроводности

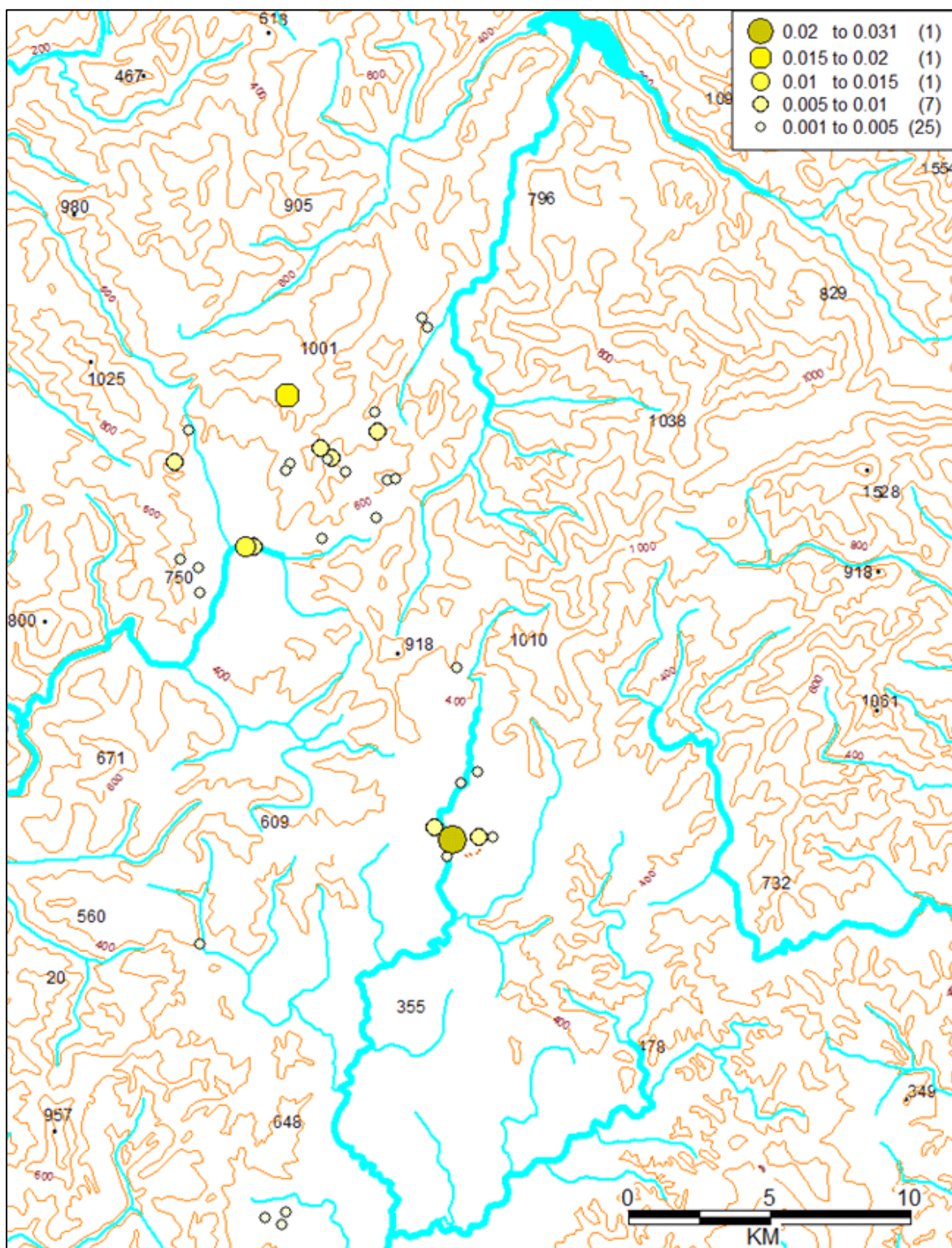


Рисунок 4.1 – Схема распределения по рассматриваемой территории концентраций As (мг/дм<sup>3</sup>) в подземных водах в 2010 г. (по данным Н.Х. Куанга)

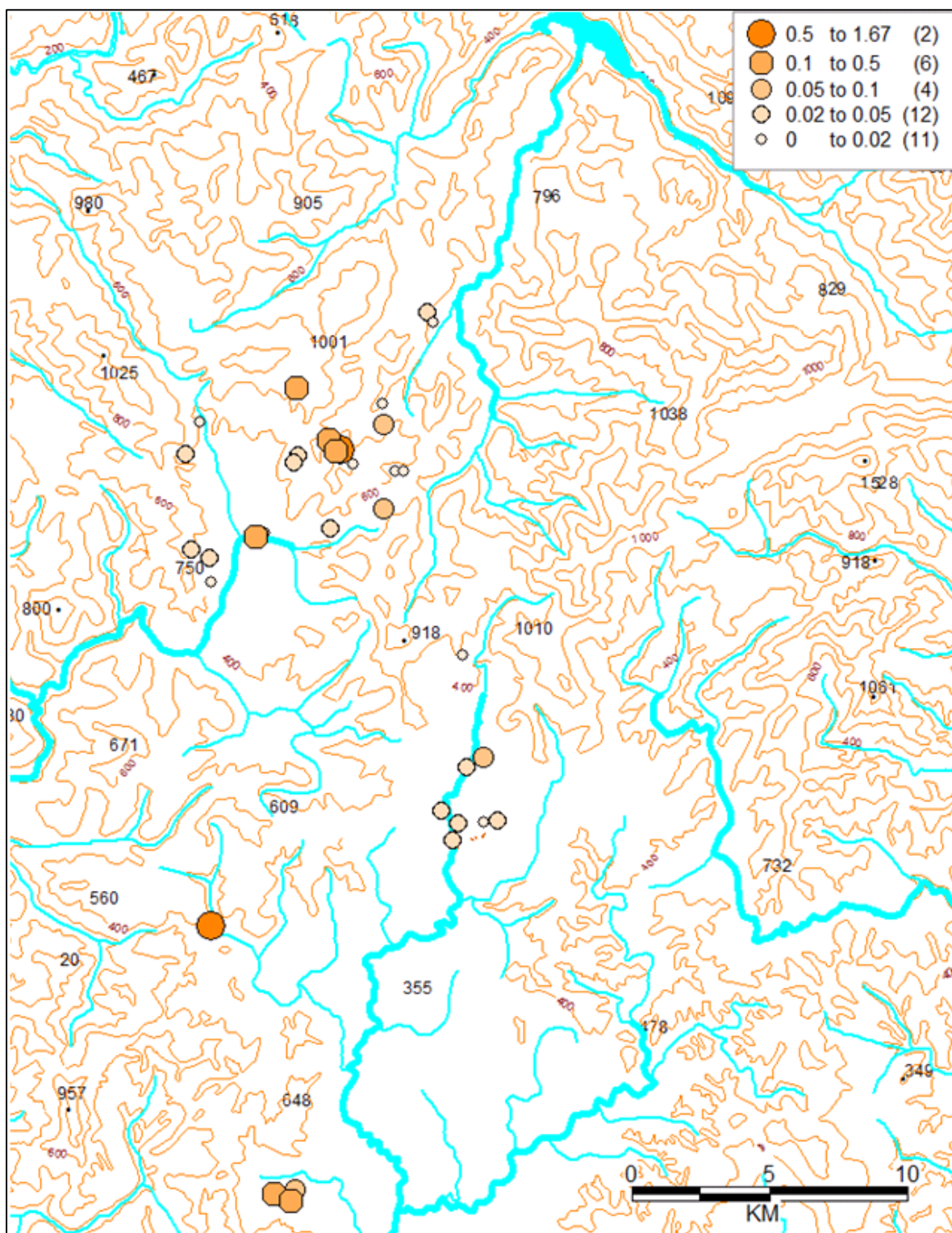


Рисунок 4.2 – Схема распределения по рассматриваемой территории концентраций Mn (мг/дм<sup>3</sup>) в подземных водах в 2010 г. (по данным Н.Х. Куанга)

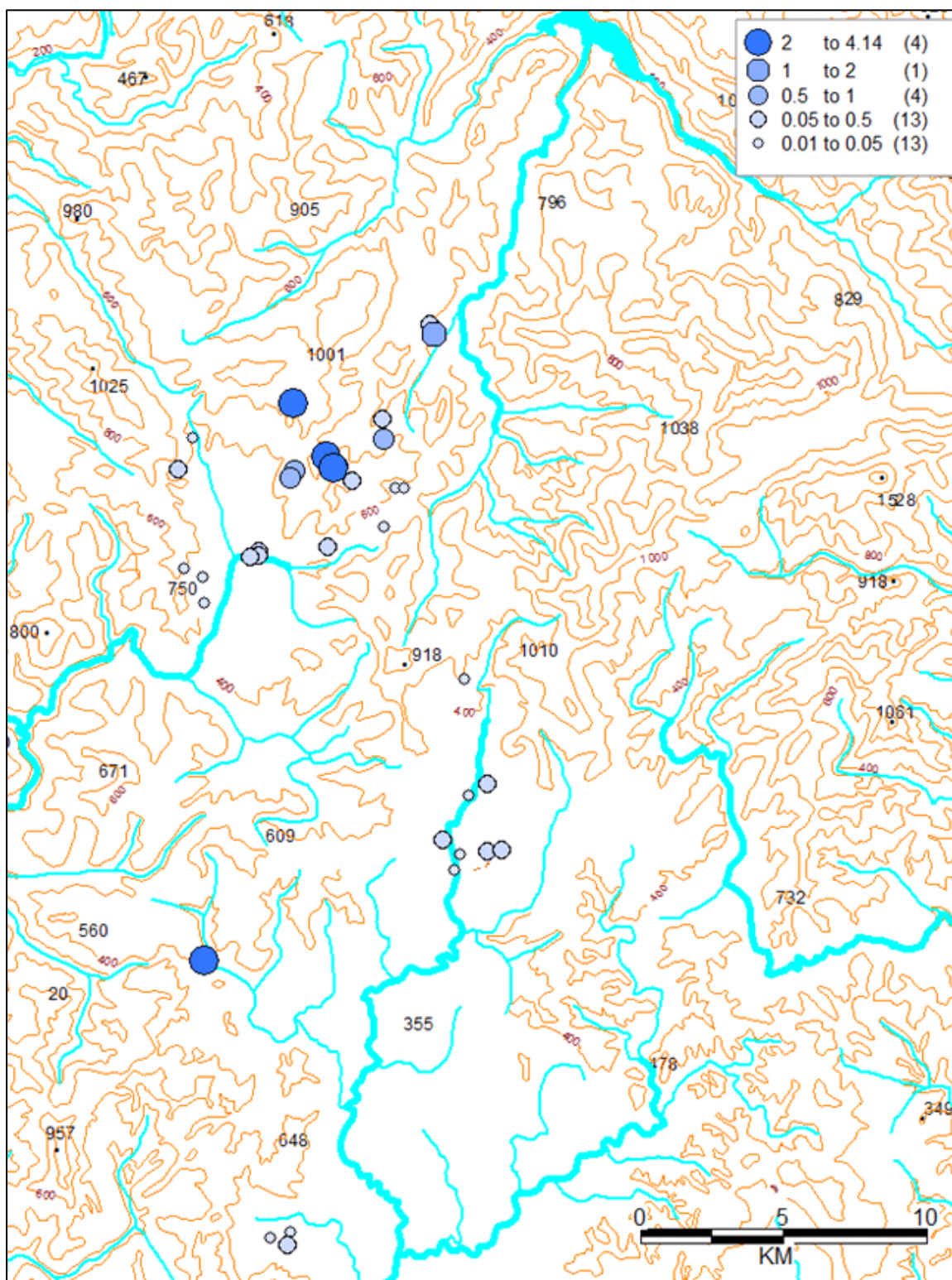


Рисунок 4.3 – Схема распределения по рассматриваемой территории концентраций Zn (мг/дм<sup>3</sup>) в подземных водах в 2010 г. (по данным Н.Х. Куанга)



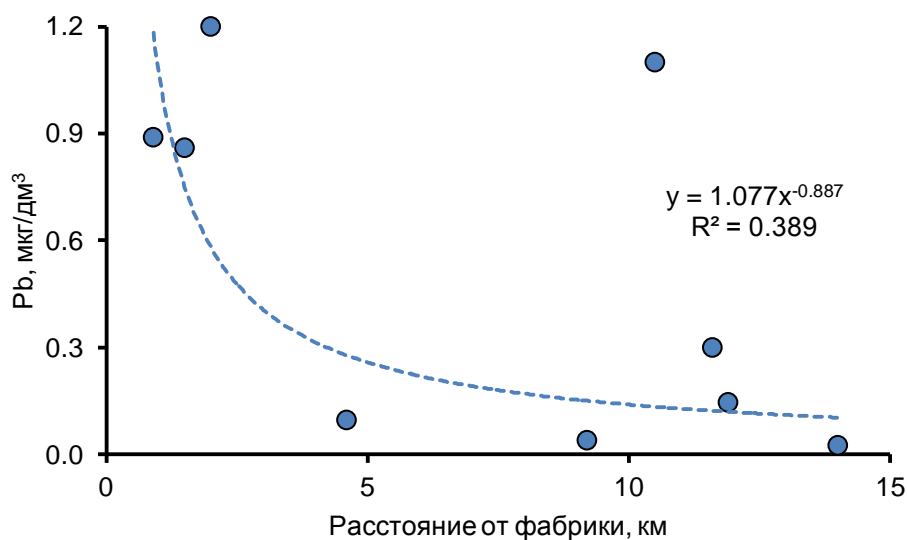


Рисунок 4.4 – Изменение концентраций Pb в подземных водах в зависимости от расстояния до ближайшей горнообогатительной фабрики

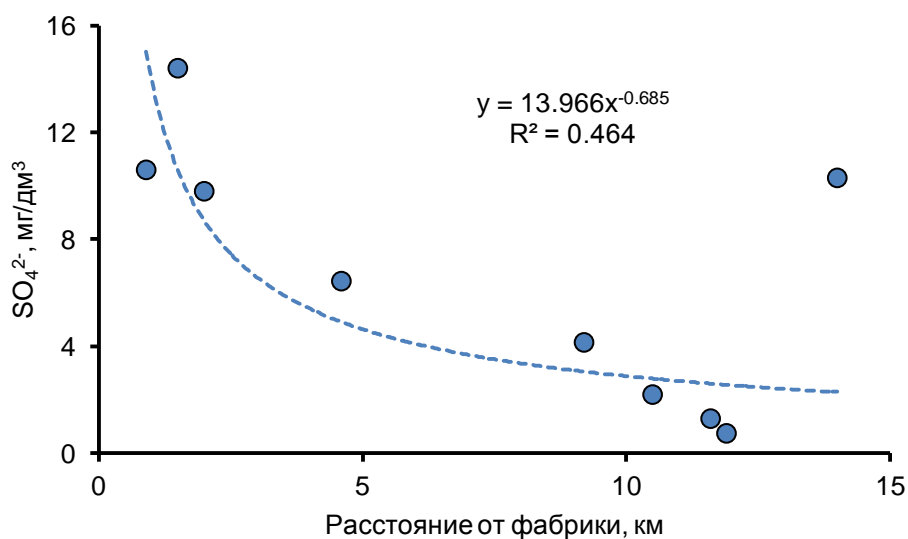


Рисунок 4.5 – Изменение концентраций  $SO_4^{2-}$  в подземных водах в зависимости от расстояния до ближайшей горнообогатительной фабрики

Кроме того, в условиях низкогорья создаются благоприятные условия для поддержания окислительной обстановки. Во внутригодовом изменении удельной электропроводности и общего содержания растворённых солей в подземных водах (по величине  $\Sigma_{mi}$ ) статически значимые связи со средними значениями атмосферных осадков или номером гидрологического года не выявлены, что связано, предположительно, наложением двух разнонаправленных процессов: 1) увеличением времени взаимодействия воды и горных пород в «сухой» сезон; 2) усилением во время

продолжительных дождей выноса веществ, ранее накопленных на поверхности водосборов и в водоносных отложениях.

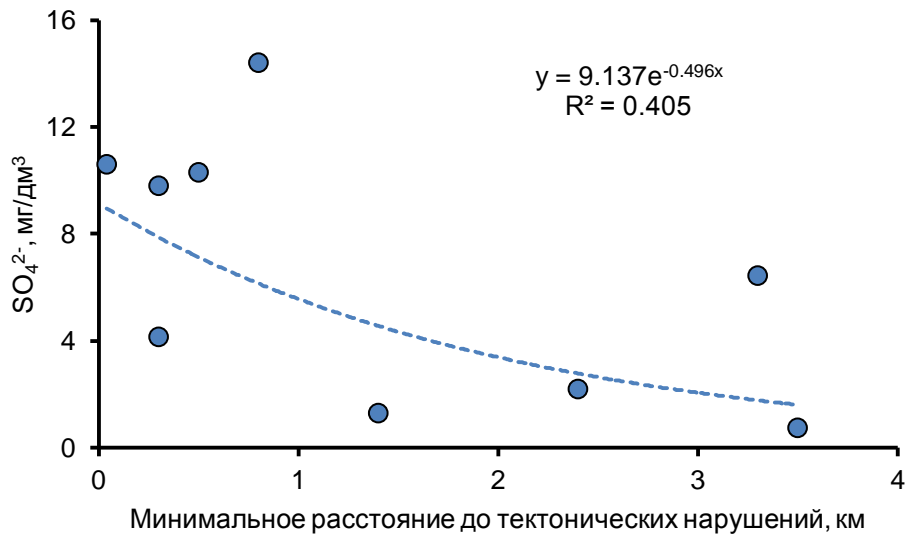


Рисунок 4.6 – Изменение концентраций  $\text{SO}_4^{2-}$  в подземных водах в зависимости от минимального расстояния до тектонических нарушений

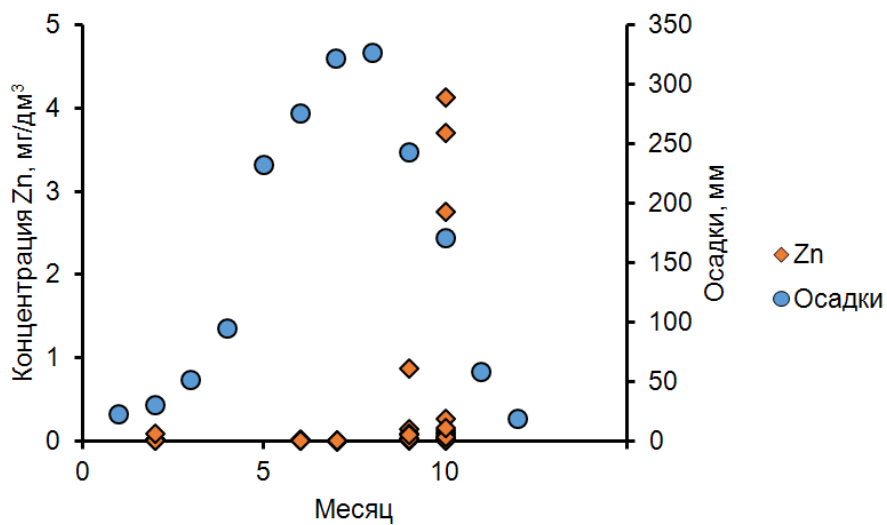


Рисунок 4.7 – Внутригодовое распределение концентраций Zn в подземных водах водосбора р. Бантхи за 2010–2015 г. и атмосферных осадков в г. Ханой [Савичев, Нгуен, 2015с)

Подземные воды района исследований не насыщены относительно первичных алюмосиликатов и незначительно пересыщены относительно кварца и соединений кальция и магния с гуминовыми кислотами, в ряде случаев – относительно кальцита (табл. 4.5).

Таблица 4.5. Значения индекса насыщения поверхностных подземных вод в уезде Чодонь провинции Бак Кан в 2015 г. [Савичев, Нгуен, 2015с]

№	Формула	Номер пробы (рис. 2.2)				
		NN 01	NN 02	NN 03	NN 05	NN 06
1	$\text{CaCO}_3(\text{кальцит}) = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	-0.50	-0.58	-0.96	-2.04	-1.01
2	$\text{CaCO}_3(\text{кальцит}) + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + 2 \times \text{HCO}_3^-$	-0.02	0.06	-0.37	-1.45	-0.32
3	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2(\text{доломит}) = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2 \times \text{CO}_3^{2-}$	-1.16	-1.32	-1.62	-3.57	-2.04
4	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2(\text{доломит}) + 2 \times \text{CO}_2 + 2 \times \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 4 \times \text{HCO}_3^-$	-0.20	-0.03	-0.45	-2.40	-0.66
5	$\text{CaГК} = \text{Ca}^{2+} + \text{ГК}$	1.13	1.13	0.95	0.52	1.05
6	$\text{MgГК} = \text{Mg}^{2+} + \text{ГК}$	0.67	0.67	0.94	0.71	0.73
7	$\text{SiO}_2(\text{кварц}) + 2 \times \text{H}_2\text{O} = \text{H}_4\text{SiO}_4^0$	0.30	0.32	0.65	0.88	0.48
8	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{анортит}) + 3 \times \text{H}_2\text{O} + 2 \times \text{CO}_2 = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \times 2 \times \text{H}_2\text{O}(\text{каолинит}) + \text{Ca}^{2+} + 2 \times \text{HCO}_3^-$	-257.53	-257.30	-257.86	-258.86	-257.91
9	$2 \times \text{NaAlSi}_3\text{O}_8(\text{альбит}) + 11 \times \text{H}_2\text{O} + 2 \times \text{CO}_2 = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \times 2 \times \text{H}_2\text{O}(\text{каолинит}) + 2 \times \text{Na}^+ + 2 \times \text{HCO}_3^- + 4 \times \text{H}_4\text{SiO}_4^0$	-11.65	-11.53	-9.78	-9.56	-11.57
10	$\text{ZnSO}_4(\text{цинкозит}) = \text{Zn}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$	-14.79	-15.00	-15.54	-16.19	-14.35
11	$\text{ZnCO}_3(\text{смитсонит}) = \text{Zn}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	-2.34	-2.48	-2.57	-3.67	-2.06

Примечание: отрицательные значения индекса свидетельствуют о недонасыщенности раствора, положительные – о пересыщении

Концентрации фульво- (ФК) и гуминовых (ГК) кислот рассчитаны по зависимостям, установленным для Северной Азии ( $[ФК]=0.484 \cdot ПО$ ,  $R^2=0.63$ ;  $[ГК]=0.176 \cdot [ФК]$ ,  $R^2=0.44$ ; ПО – перманганатная окисляемость). Подземные воды не насыщены и относительно цинксодержащих минералов, что подтверждает сделанный выше вывод о связи концентраций этого и, видимо, ряда других элементов с интенсивностью водообмена [Савичев, Нгуен, 2015а,с].

В целом, подземные воды рассматриваемой территории характеризуются как пресные, гидрокарбонатные кальциевые, слабокислые или нейтральные. В ряде случаев они содержат Mn, Si, Al (по фондовым данным Института геологии и минеральных ресурсов Вьетнама – Fe, Zn, Cd, As, Al) в количестве, превышающем установленные в Российской Федерации и Вьетнаме нормативы хозяйственно-питьевого водопользования. Особенности пространственно-временных изменений химического состава подземных вод определяются геологическими условиями (месторождения и проявления свинцово-цинковых и, возможно, марганцевых руд с повышенными концентрациями попутных элементов), внутригодовым распределением атмосферного увлажнения (максимумы – в июле–августе), а также локальным загрязнением окружающей среды в населённых пунктах, вблизи действующих и закрытых горных предприятий. Наибольшие концентрации микроэлементов чаще всего отмечены на участках в водосборах р. Бантхи 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. Эта способность, на взгляд автора, определяется, прежде всего, тем же самым интенсивным водообменом в горных породах. В свою очередь, последний (то есть водообмен) определяется обильным атмосферным увлажнением (среднее годовое количество дождей от 1600–2332 мм/год [Строкова, Фи, 2013]), значительными уклонами и фильтрационными свойствами грунтов, а также наличием древесной растительности на водосборной территории, обеспечивающей устойчивость склонов – то есть условия, ограничивающие площадь и время взаимодействия вод, почв и горных пород [Савичев, Нгуен, 2015с]. Указанные выше обстоятельства целесообразно учитывать при разработке месторождений полезных ископаемых, планировании и организации природоохранных мероприятий, особенно в водосборе р. Бантхи.

## 4.2. Поверхностные воды

Анализ материалов, полученных в феврале 2015 и 2016 гг. и соответствующих межennaleму периоду (рис. 3.6), показал, что, во-первых, все изученные водные объекты относятся к категории «малых» рек с расходами воды до  $41 \text{ м}^3/\text{с}$  [Савичев, Нгуен, 2015a]. Во-вторых, изученные поверхностные воды по классификациям О.А. Алёкина [1970] в целом пресные с малой и средней минерализацией, гидрокарбонатные кальциевые I, II, III типов (табл. 4.6–4.8). По величине pH воды нейтральные и слабощелочные, по жёсткости – от очень мягких до умеренно жёстких, по величине перманганатной окисляемости – с очень малой окисляемостью, по содержанию органических и биогенных веществ – бета-мезосапробного класса [ГОСТ 17.1.2.04-77; Гидрохимические показатели..., 2007]. 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  $\text{NO}_2^-$ , 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  $\text{NO}_2^-$  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 (табл. 4.6–4.8, рис. 4.8 – 4.10).

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. Кроме того, несмотря на низкое содержание органических веществ, вероятно пересыщение поверхностных вод относительно соединений металлов и гуминовых кислот (табл. 4.9). Таким образом, можно предположить, что рост концентраций ряда тяжёлых металлов в поверхностных водах района исследований ограничен малой растворимостью их соединений с карбонатами и гуминовыми кислотами [Савичев, Нгуен, 2015a].

Таблица 4.6. Химический состав поверхностных вод в уезде Чодонь провинции Баккан в феврале 2015 г. [Савичев, Нгуен, 2015а]

Показатель	Единицы измерения	Номер пробы (рис. 2.3)									
		NM-01	NM-02	NM-05 <sub>a</sub>	NM-03	NM-05 <sub>b</sub>	NM-09	NM-11	NM-13	NM-15	NM-17
Дата отбора	–	14.02	14.02	14.02	14.02	15.02	16.02	15.02	16.02	16.02	16.02
pH	ед. pH	8,03	8,00	8,00	7,70	7,75	7,40	7,45	7,50	7,50	7,80
УЭП	мкС/см	306	330	340	350	316	114	103	92	198	218
$\Sigma_{mi}$	мг/дм <sup>3</sup>	291,7	325,9	319,5	335,5	283,4	92,6	87,7	73,9	178,2	189,4
Ca <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	61,6	72,3	71,7	74,2	58,0	12,3	11,7	11,0	36,4	39,0
Mg <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	6,5	5,5	5,4	5,8	7,3	4,4	3,6	2,2	3,8	3,9
Na <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	1,4	1,2	1,2	1,3	3,5	4,1	4,1	3,8	2,7	2,4
K <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	1,1	0,7	0,6	0,9	1,8	2,6	2,7	2,2	1,4	1,3
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	213,0	232,0	227,0	238,0	185,0	63,0	61,0	49,0	124,0	134,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	6,3	12,6	12,1	13,4	26,2	4,2	3,2	3,9	8,6	7,6
Cl <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	1,8	1,6	1,5	1,9	1,6	2,0	1,4	1,8	1,3	1,2
Si	мг/дм <sup>3</sup>	4,93	4,58	4,18	4,33	7,01	11,29	10,42	8,91	7,44	6,58
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,140	0,170	0,150	0,210	0,120	0,180	0,120	0,150	0,190	0,150
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,010	0,033	0,028	0,044	0,010	0,031	0,041	0,044	0,027	0,053
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	2,380	3,410	4,340	3,780	2,500	1,460	0,960	2,280	2,120	2,260
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,080	0,065	0,076	0,025	0,025

Показатель	Единицы измерения	Номер пробы (рис. 2.3)									
		NM-01	NM-02	NM-05 <sub>a</sub>	NM-03	NM-05 <sub>b</sub>	NM-09	NM-11	NM-13	NM-15	NM-17
Fe	мг/дм <sup>3</sup>	0,170	0,130	0,100	0,130	0,120	0,230	0,480	0,250	0,190	0,150
Zn	мкг/дм <sup>3</sup>	8,60	51,00	80,00	140,00	58,00	8,50	6,70	6,80	29,00	8,30
Cd	мкг/дм <sup>3</sup>	0,02	0,09	0,15	0,44	0,13	0,30	0,20	0,02	0,03	0,03
Pb	мкг/дм <sup>3</sup>	1,30	7,30	11,00	18,00	4,60	0,53	0,98	1,50	1,30	1,50
Cu	мкг/дм <sup>3</sup>	2,10	1,10	2,20	2,00	1,80	1,10	2,00	1,70	1,90	2,20
Al	мкг/дм <sup>3</sup>	155	253	143	40	142	70	328	464	141	172
ПО	мгО/дм <sup>3</sup>	0,58	0,36	0,28	0,46	0,40	1,00	0,82	1,02	0,56	0,58

Таблица 4.7. Химический состав поверхностных вод в уезде Чодонь провинции Баккан в феврале 2016 г.

Показатель		Номер пробы (рис. 2.3)										
		M1604	M1603	M1602	M1601	M1605	M1611	M1609	M1608	M1607	M1610	M1606
Дата отбора		19.02	19.02	19.02	19.02	19.02	20.02	20.02	20.02	20.02	20.02	20.02
pH	ед. pH	7.53	7.47	8.00	7.61	7.50	7.51	7.87	7.89	7.60	7.52	7.12
УЭП	мкС/см	345	347	372	358	324	321	265	257	221	298	120
$\Sigma_{mi}$	мг/дм <sup>3</sup>	309.6	315.9	333.3	318.4	290.0	277.0	231.0	224.7	193.3	264.5	102.6
Ca <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	77.3	76.7	83.2	76.6	67.2	60.3	48.8	49.1	39.5	62.5	15.2
Mg <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	3.8	5.5	4.5	5.3	5.6	7.2	6.2	5.8	5.4	5.4	4.6
Na <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	1.0	1.2	1.0	1.4	1.4	3.3	3.3	2.4	3.4	1.0	4.1

Показатель		Номер пробы (рис. 2.3)										
		M1604	M1603	M1602	M1601	M1605	M1611	M1609	M1608	M1607	M1610	M1606
K <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0.5	0.7	0.5	0.9	1.2	1.6	2.0	1.7	2.3	1.1	3.5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	218.4	221.0	231.0	222.0	206.2	178.0	153.0	152.5	132.0	188.0	69.5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	7.8	10.0	12.3	11.0	6.8	25.2	16.2	11.7	9.2	5.4	3.8
Cl <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0.9	0.9	0.9	1.2	1.6	1.3	1.5	1.4	1.5	1.1	1.8
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	2.750	0.750	3.900	2.370	1.720	1.270	1.150	0.800	1.170	0.840	0.440
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0.010	0.500	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
F <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0.050	0.060	0.020	0.080	0.080	0.087	0.115	0.120	0.110	0.130	0.025
Si	мг/дм <sup>3</sup>	4.87	3.85	3.97	4.53	4.99	6.42	7.07	5.96	7.87	5.01	9.73
Fe	мг/дм <sup>3</sup>	0.098	0.062	0.060	0.089	0.172	0.196	0.125	0.138	0.365	0.067	0.662
Al	мг/дм <sup>3</sup>	0.0109	0.0090	0.0050	0.0106	0.0162	0.0296	0.0128	0.0078	0.0240	0.0033	0.0181
ПО	мгО/ дм <sup>3</sup>	0.45	0.41	0.125	0.28	0.41	0.125	0.125	0.36	0.57	0.41	1.13
БО	мгО/ дм <sup>3</sup>	4.1	2.8	2.5	4.4	2.5	4.9	2.5	6.2	8.2	5.3	2.5
Li	мкг/дм <sup>3</sup>	0.34	0.56	0.45	1.21	1.88	1.37	1.22	1.23	1.14	1.63	0.98
P	мг/дм <sup>3</sup>	0.0112	0.0145	0.0035	0.0036	0.0072	0.0500	0.0013	0.0034	0.0167	0.0024	0.0274
Ti	мкг/дм <sup>3</sup>	0.38	0.21	0.21	0.27	0.27	0.63	0.39	0.25	0.81	0.19	0.64



Показатель		Номер пробы (рис. 2.3)										
		M1604	M1603	M1602	M1601	M1605	M1611	M1609	M1608	M1607	M1610	M1606
V	мкг/дм <sup>3</sup>	0.23	0.17	0.16	0.25	0.43	0.44	0.54	0.41	0.55	0.11	0.59
Cr	мкг/дм <sup>3</sup>	0.81	0.74	0.84	0.81	0.74	0.76	0.55	0.53	0.52	0.62	0.31
Mn	мкг/дм <sup>3</sup>	58.70	23.56	29.99	24.90	32.36	52.47	33.35	19.19	45.95	7.04	73.94
Co	мкг/дм <sup>3</sup>	0.09	0.04	0.05	0.08	0.13	0.11	0.05	0.05	0.13	0.03	0.16
Ni	мкг/дм <sup>3</sup>	0.03	0.03	0.06	0.05	0.03	0.77	0.04	0.02	0.04	0.03	0.03
Cu	мкг/дм <sup>3</sup>	0.29	0.51	0.32	0.43	0.39	1.35	0.63	0.46	2.49	0.36	0.77
Zn	мкг/дм <sup>3</sup>	15.07	74.77	70.61	48.11	1.28	89.13	3.63	2.34	3.61	7.52	1.12
As	мкг/дм <sup>3</sup>	7.35	5.15	2.72	2.82	1.55	17.86	12.90	7.73	5.78	1.65	0.76
Se	мкг/дм <sup>3</sup>	0.50	0.08	0.32	0.23	0.50	0.79	0.25	0.22	0.44	0.20	0.39
Rb	мкг/дм <sup>3</sup>	0.80	1.13	0.65	1.42	1.81	4.92	5.02	3.90	5.42	2.58	7.74
Sr	мкг/дм <sup>3</sup>	117.81	118.33	99.27	132.14	141.14	141.33	96.19	94.33	83.47	105.88	49.53
Ag	мкг/дм <sup>3</sup>	0.033	0.022	0.010	0.009	0.006	0.066	0.010	0.007	0.007	0.004	0.004
Cd	мкг/дм <sup>3</sup>	0.099	0.401	0.121	0.139	0.019	0.497	0.038	0.039	0.031	0.077	0.017
Sn	мкг/дм <sup>3</sup>	0.035	0.024	0.051	0.087	0.004	0.068	0.011	0.018	0.057	0.006	0.008
Sb	мкг/дм <sup>3</sup>	0.206	0.173	0.124	0.172	0.228	1.268	0.604	0.365	0.279	1.506	0.053
Cs	мкг/дм <sup>3</sup>	0.030	0.098	0.045	0.112	0.197	0.770	0.157	0.112	0.089	0.176	0.036
Ba	мкг/дм <sup>3</sup>	9.745	11.188	10.167	17.000	23.368	33.640	31.930	28.875	29.614	20.703	30.492
La	мкг/дм <sup>3</sup>	0.071	0.042	0.022	0.080	0.152	0.223	0.104	0.068	0.210	0.013	0.245
Ce	мкг/дм <sup>3</sup>	0.147	0.073	0.034	0.142	0.320	0.329	0.156	0.122	0.435	0.039	0.501

Показатель		Номер пробы (рис. 2.3)										
		M1604	M1603	M1602	M1601	M1605	M1611	M1609	M1608	M1607	M1610	M1606
Sm	мкг/дм <sup>3</sup>	0.006	0.007	0.003	0.009	0.028	0.042	0.014	0.012	0.032	0.002	0.038
Eu	мкг/дм <sup>3</sup>	0.005	0.002	0.002	0.005	0.009	0.010	0.007	0.005	0.009	0.003	0.008
Tb	мкг/дм <sup>3</sup>	0.002	0.001	0.001	0.002	0.004	0.006	0.002	0.001	0.005	0.000	0.006
Yb	мкг/дм <sup>3</sup>	0.002	0.002	0.001	0.006	0.011	0.012	0.006	0.003	0.007	0.000	0.007
Lu	мкг/дм <sup>3</sup>	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.002	0.001	0.000	0.002	0.000	0.001
Au	мкг/дм <sup>3</sup>	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.005	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
Hg	мкг/дм <sup>3</sup>	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
Pb	мкг/дм <sup>3</sup>	7.75	12.11	4.71	5.40	2.21	58.69	4.85	2.35	2.97	0.58	0.44
Bi	мкг/дм <sup>3</sup>	0.002	0.003	0.001	0.001	0.001	0.170	0.008	0.004	0.006	0.001	0.003

Таблица 4.8 – Физико-химические и геохимические показатели поверхностных вод в уезде Чодонь в 2010 г. [Нгуен Хонг Куанг, 2010]

Номер пробы	Место отбора	Басейн реки	Показатель								
			pH	TDS, мг/дм <sup>3</sup>	УЭП, мкС/см	As	Mn	Zn	Hg	Pb	Cd
КН.01	Территория у рудника Банглунг	Дай	–	–	–	0,003	0,26	6,78	0,0001	0,001	<0,0001
КН.02	Рудник Банглунг	Дай	6,5	165	262	0,011	2,44	0,79	<0,0001	0,003	<0,0001
КН.03	Территория у рудника Банглунг	Дай	6,6	257	402	0,01	0,59	0,3	<0,0001	0,003	<0,0001
КН.04	Рудник Банглунг	Дай	7,3	164	258	0,017	2,07	0,98	0,0002	0,001	<0,0001
КН.32	Рудник Натум	Дай	6,6	197	309	0,008	0,04	0,01	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Номер пробы	Место отбора	Басейн реки	Показатель								
			pH	TDS, мг/дм <sup>3</sup>	УЭП, мкС/см	As	Mn	Zn	Hg	Pb	Cd
КН.37	Ручей в г.Банглунге	Дай	6,9	154	263	0,004	0,02	0,23	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.45	Горно-обогатительный Банглунг	Дай	6,1	167	296	0,043	0,21	2,38	<0,0001	0,002	<0,0001
КН.50	Ручей в г.Банглунге	Дай	5,1	99	256	0,007	0,06	0,22	0,0001	<0,001	<0,0001
КН.52	Ручей в г.Банглунге	Дай	6,3	142	259	0,004	0,08	0,02	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.60	Рудник Банлак	Дай	5,2	195	259	0,036	0,49	0,34	<0,0001	0,001	<0,0001
КН.65	Ручей в г.Банглунге	Дай	5,9	75	495	0,008	0,09	0,1	0,0001	<0,001	<0,0001
КН.75	Озёро в г.Банглунге	Дай	5,8	438	746	0,028	0,18	0,46	<0,0001	0,001	<0,0001
КН.77	Ручей в г.Банглунге	Дай	5,9	864	1009	0,017	0,76	0,48	<0,0001	0,001	<0,0001
КН.78	Ручей в г.Банглунге	Дай	5,9	1063	1344	0,002	0,02	0,46	0,0001	<0,0001	<0,0001
КН.79	Горно-обогатительный Лунгванг	Дай	6,0	952	1023	0,086	0,18	0,03	<0,0001	0,001	<0,0001
КН.85	Горно-обогатительный Лунгванг	Дай	6,3	561	936	0,035	1,83	0,33	<0,0001	0,002	<0,0001
КН.98	Ручей в к.Лынгбанге	Дай	6,4	875	856	0,001	0,03	0,11	0,0001	0,001	<0,0001
КН.100	Ручей в к.Лынгбанге	Дай	6,2	654	936	0,001	0,04	0,06	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.102	Ручей в к.Лынгбанге	Дай	6,0	668	927	0,002	0,05	0,19	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.130	Горно-обогатительный Бантхи	Бантхи	6,2	166	259	0,032	0,22	0,23	<0,0001	0,003	<0,0001
КН.140	Территория у рудника Кеонанг	Бантхи	6,2	134	258	0,007	0,03	0,03	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.150	Р.Бантхи	Бантхи	6,2	151	298	0,001	0,01	0,02	0,0001	<0,001	<0,0001
КН.165	Р.Бантхи	Бантхи	6,2	124	215	0,01	0,2	0,34	<0,0001	0,001	<0,0001

Номер пробы	Место отбора	Басейн реки	Показатель								
			pH	TDS, мг/дм <sup>3</sup>	УЭП, мкС/см	As	Mn	Zn	Hg	Pb	Cd
КН.168	Ручей в к.Суанлас	Тадиэнг	7,0	742	259	0,003	0,02	0,03	<0,0001	0,002	<0,0001
КН.172	Озёро в к.Суанлас	Тадиэнг	6,7	687	287	0,012	2,6	0,32	<0,0001	0,001	<0,0001
КН.178	Озёро в к.Суанлас	Тадиэнг	7,2	859	387	0,002	0,07	20,2	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.179	Озёро в к.Донглас	Тадиэнг	9,3	1018	459	0,004	0,07	0,04	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.302	Рудник Бантхи	Бантхи	6,3	–	–	0,206	19,65	38,33	<0,0001	0,36	0,209
КН.303	Рудник Бантхи	Бантхи	5,6	–	–	0,095	0,76	3,44	0,0001	0,003	<0,0001
КН.317	Территория у рудника Бантхи	Бантхи	6,8	328	460	0,003	3,67	12,79	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.322	Ручей в к.Куангбач	Бантхи	6,9	136	0,32	0,075	0,23	0,18	<0,0001	0,002	<0,0001
КН.323	Ручей в к.Куангбач	Бантхи	6,8	105	0,49	0,001	0,08	0,23	<0,0001	0,001	<0,0001
КН.325	Ручей в к.Куангбач	Бантхи	6,2	220	231	0,009	0,18	3,02	<0,0001	0,001	<0,0001
КН.328	Ручей в к.Куангбач	Бантхи	6,2	318	392	0,038	0,35	5,21	<0,0001	0,003	<0,0001
КН.345	Рудник Деоань	Бантхи	7,2	201	318	0,001	0,19	2,3	<0,0001	0,001	<0,0001
КН.352	Ручей в к. Бантхи	Бантхи	6,8	125	130	0,006	0,12	1,02	0,0002	<0,001	<0,0001
КН.358	Ручей в к. Бантхи	Бантхи	–	–	–	0,002	0,29	4,17	<0,0001	<0,001	<0,0001
КН.360	Ручей в к. Бантхи	Бантхи	–	–	–	0,004	0,07	0,07	0,0001	<0,001	<0,0001
КН.362	Ручей в к. Бантхи	Тадиэнг	–	–	–	0,009	0,13	0,89	<0,0001	<0,001	<0,0001

Таблица 4.9 – Средние значения индекса насыщения (*L*) речных вод в феврале 2015 и 2016 гг.

№	Формула	Река Бантхи	Река Дай	Реки Ченгу, Фо Дай, Намду, Кау, Та Диенг	Все реки
1	$\text{CaCO}_3(\text{кальцит}) = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	0,05	-0,20	-2,73	-1,20
2	$\text{CaCO}_3(\text{кальцит}) + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + 2 \times \text{HCO}_3^-$	0,64	0,31	-0,47	0,09
3	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2(\text{доломит}) = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2 \times \text{CO}_3^{2-}$	-0,05	-0,27	-5,23	-2,32
4	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2(\text{доломит}) + 2 \times \text{CO}_2 + 2 \times \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 4 \text{HCO}_3^-$	1,14	0,74	-0,72	0,25
5	$\text{CaГК} = \text{Ca}^{2+} + \text{ГК}$	1,08	0,92	0,69	0,88
6	$\text{MgГК} = \text{Mg}^{2+} + \text{ГК}$	0,63	0,75	0,61	0,65
7	$\text{SiO}_2(\text{кварц}) + 2 \times \text{H}_2\text{O} = \text{H}_4\text{SiO}_4^0$	0,25	0,42	0,47	0,39
8	$2 \times \text{NaAlSi}_3\text{O}_8(\text{альбит}) + 11 \times \text{H}_2\text{O} + 2 \times \text{CO}_2 = \text{AlSi}_2\text{O}_7 \cdot 2 \times \text{H}_2\text{O}(\text{каолинит}) + 2 \times \text{Na}^+ + 2 \times \text{HCO}_3^- + 4 \times \text{H}_4\text{SiO}_4^0$	-11,20	-9,72	-10,47	-10,54
9	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{анортит}) + 3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2 \cdot \text{CO}_2 = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{каолинит}) + \text{Ca}^{2+} + 2 \cdot \text{HCO}_3^-$	-255,98	-256,20	-257,18	-256,55
10	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8(\text{альбит}) + 7 \times \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ = \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \times \text{H}_2\text{O}(\text{гиббсит}) + \text{Na}^+ + 3 \times \text{H}_4\text{SiO}_4^0$	-204,89	-203,99	-204,12	-204,35
	Объём выборки	7	5	9	21

Примечание: Отрицательные значения индекса *L* указывают на потенциальное недосыщение, а положительные – на пересыщение раствора относительно минералов и соединений, взаимодействие с которыми рассматривается.

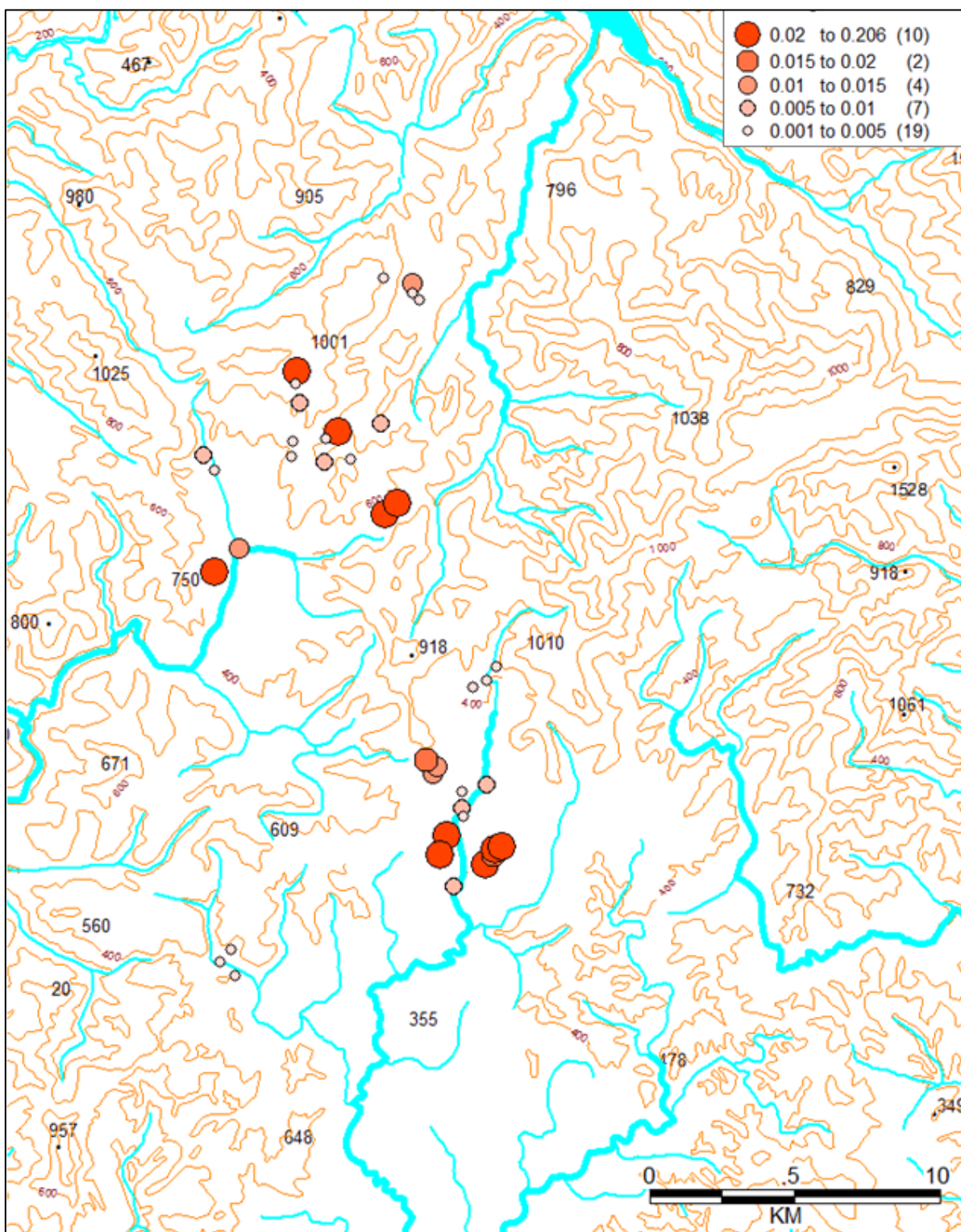


Рисунок 4.8 – Схема распределения по рассматриваемой территории концентраций As ( $\text{мг}/\text{дм}^3$ ) в поверхностных водах в 2010 г. (по данным Н.Х. Куанга)

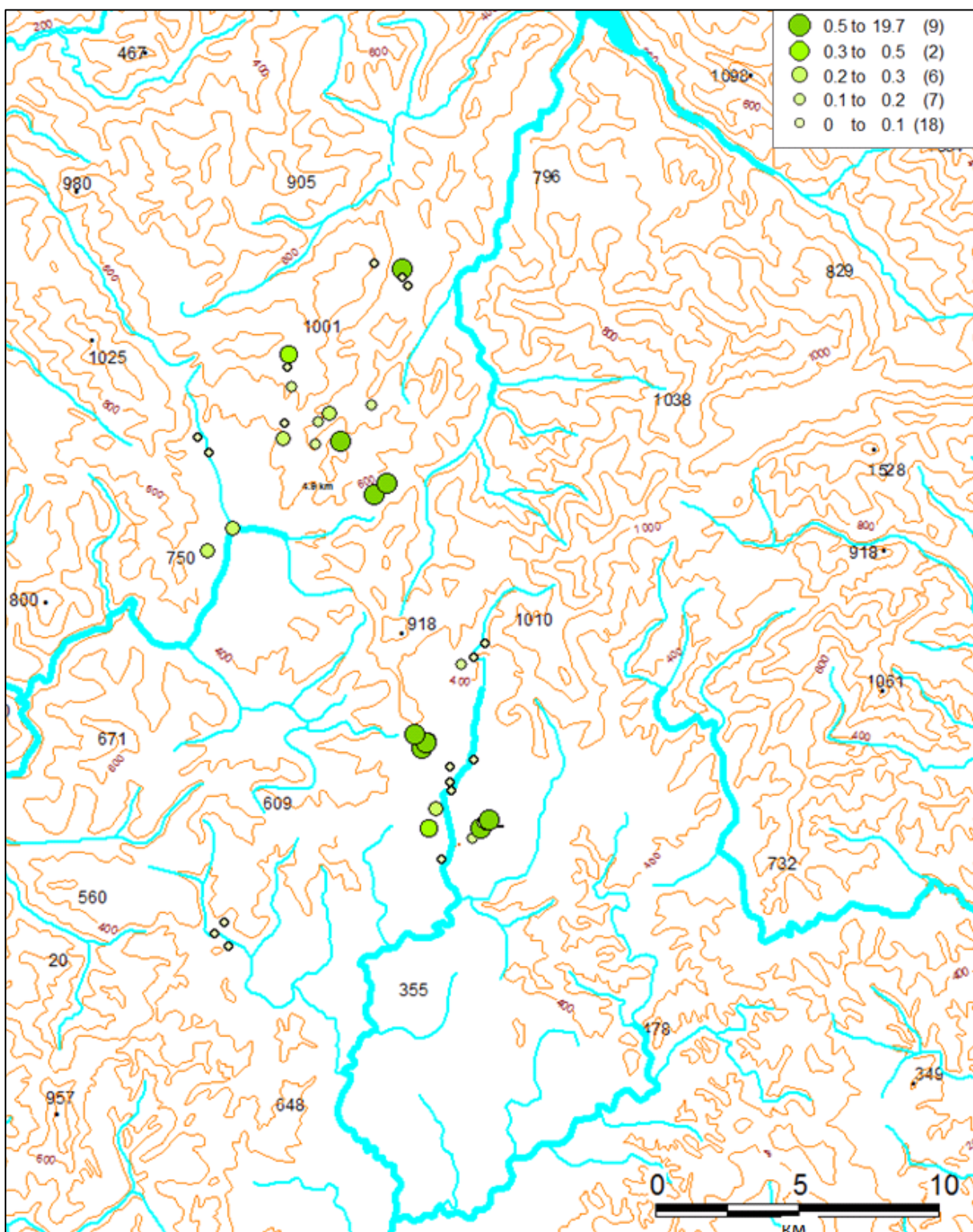


Рисунок 4.9 – Схема распределения по рассматриваемой территории концентраций Mn ( $\text{мг/дм}^3$ ) в поверхностных водах в 2010 г. (по данным Н.Х. Куанга)

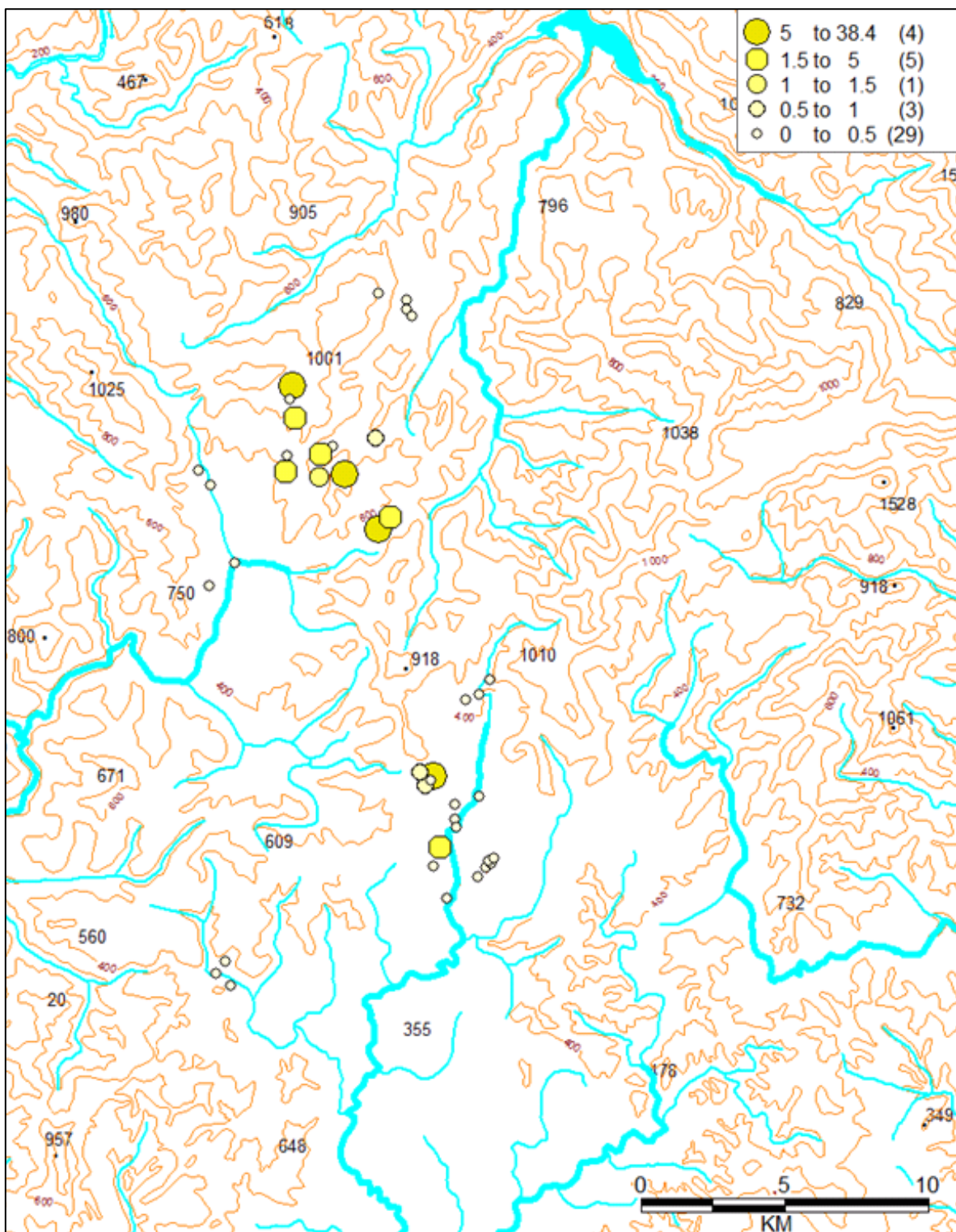


Рисунок 4.10 – Схема распределения по рассматриваемой территории концентраций Zn (мг/дм<sup>3</sup>) в поверхностных водах в 2010 г. (по данным Н.Х. Куанга)

Корреляционные связи между гидрохимическими, гидрологическими и гидроморфологическими показателями в целом относительно слабые (табл. 4.10), что в ряде случаев объясняется не отсутствием связей как таковых, а их нелинейностью. В целом, можно отметить, что суммарное содержание растворённых солей, концентраций



Zn и Pb возрастает с: а) увеличением уклонов водотоков и гидроморфологического показателя  $K_T$  (табл. 4.10, рис. 4.10); б) уменьшением их длины и доли водосбора с речной сетью (табл. 4.10, рис. 4.11). В последнем случае физический смысл зависимости может быть выражен уравнением (2.11).

Таблица 4.10 – Статистически значимые коэффициенты корреляции между гидрохимическими, гидрологическими и гидроморфологическими показателями (при уровне значимости 5%) [Савичев, Нгуен, 2015а]

Показатель	$F$	$L$	$J$	$K_T$	$Q_{\max(1\%)}$	$Q_{\max(10\%)}$	$M_{\max(10\%)}$
pH	–	-0,60	0,57	0,61	–	–	–
УЭП	–	-0,69	0,83	0,52	–	–	–
$\Sigma_{mi}$	–	-0,71	0,84	0,55	–	–	–
$Ca^{2+}$	–	-0,72	0,85	0,59	–	–	–
$Mg^{2+}$	–	–	–	–	–	–	–
$Na^+$	–	0,72	-0,76	-0,72	–	–	–
$K^+$	–	0,68	-0,80	-0,78	–	–	–
$HCO_3^-$	–	-0,73	0,83	0,57	–	–	–
$SO_4^{2-}$	–	–	0,58	–	–	–	–
$Cl^-$	–	–	–	–	–	–	–
Si	–	0,78	-0,86	-0,67	–	–	–
$NH_4^+$	–	–	–	–	–	–	–
$NO_2^-$	–	–	–	–	–	–	–
$NO_3^-$	–	-0,63	0,89	0,59	–	–	–
$PO_4^{3-}$	–	0,62	-0,69	-0,60	–	–	–
F <sup>-</sup>	–	0,54	-0,68	-0,56	–	–	–
Fe	–	-	-0,65	-0,56	–	–	–
Zn	–	-0,58	0,86	–	-0,50	-0,50	0,66
Cd	–	–	–	–	–	–	–
Pb	–	-0,61	0,85	–	–	–	0,67
Cu	-0,51	–	–	–	-0,65	-0,65	0,55
Al	–	–	–	–	–	–	–
ПО	–	0,64	-0,75	-0,59	–	–	–

Исключительно интересной представляется выявленная зависимость концентраций Pb и Zn от сопряжённости речной сети и тектонических нарушений в пределах водосборов, определение которой было выполнено по формуле (2.10). Физический смысл этой зависимости заключается в том, что в ряде случаев повышенные концентрации химических элементов могут быть связаны с разгрузкой подземных вод, приуроченных к зонам разломов, идентифицируемых по ряду признаков, проявляющихся в том числе в формах и геофизических характеристиках рельефа [Корчуганова, 2006; Поцелуев и др., 2007]. В рассматриваемом случае наиболее высокие концентрации Zn и Pb обнаружены в водах реки Бантхи и верховий реки Дай, приуроченных к тектоническим нарушениям и отложениям нижнего девона (рис. 4.12).

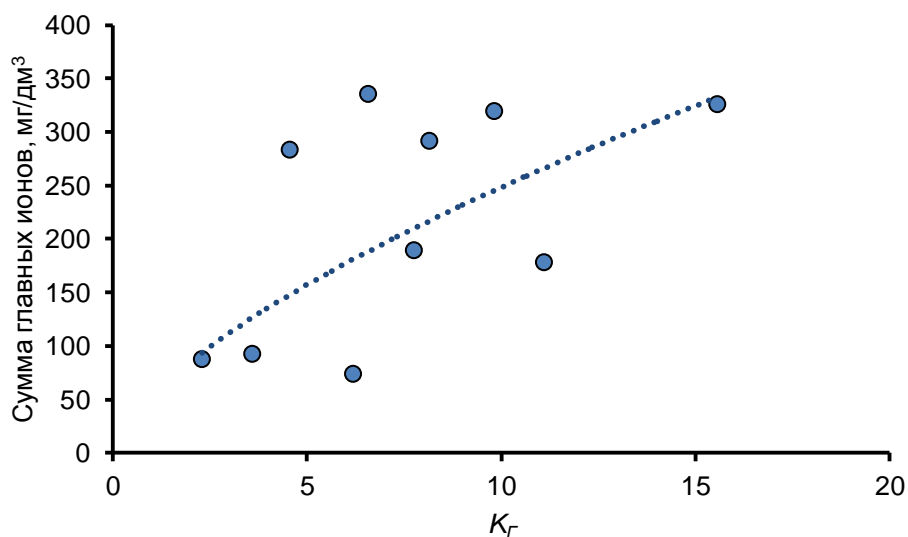


Рисунок 4.10 – Зависимость суммы главных ионов  $\Sigma_{mi}$  от гидроморфологического показателя  $K_G$  ( $\Sigma_{mi}=54,421 \cdot K_G^{0,659}$ ;  $R^2=0,39$ ) [Савичев, Нгуен, 2015a]

Таким образом, поверхностные воды в междуречье рек Гам и Кау характеризуются как пресные с низким содержанием органических веществ и относительно повышенным содержанием ряда металлов (Zn, Pb, Fe, Al), что, судя по размещению горнообогатительных фабрик и разрабатываемых месторождений (рис. 3.1), связаны как с антропогенными, так и с природными факторами (геохимическими аномалиями природного происхождения).

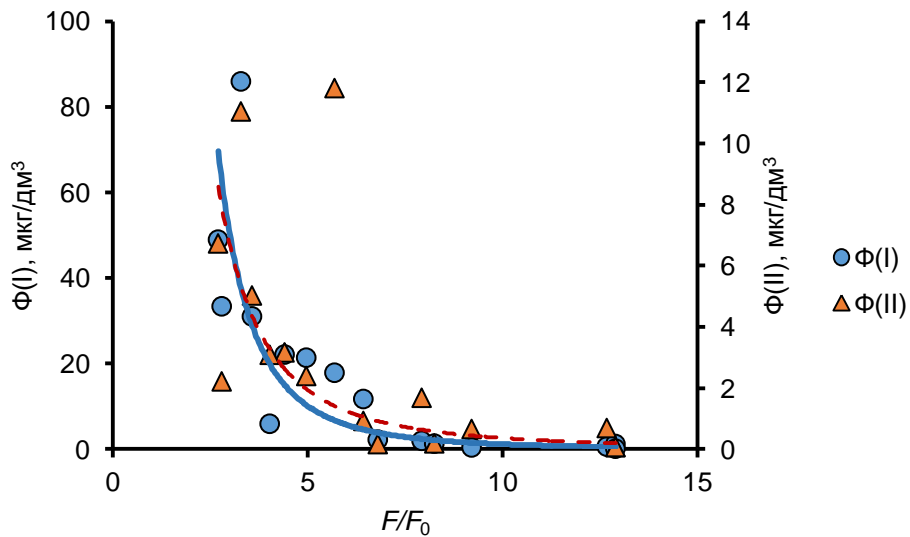


Рисунок 4.11 – Зависимость между функциями содержаний  $C(\text{Zn})$  и  $C(\text{Pb})$  в речных водах и соотношением площадей  $F/F_U$ ; линии тренда: сплошная линия синего цвета –  $\Phi(\text{I})=C(\text{Zn}) \cdot Y/Y_U = 1575.540 \cdot (F/F_U)^{-3.140}$ ,  $R^2=0.83$ ; пунктир коричневого цвета  $\Phi(\text{I})=C(\text{Pb}) \cdot Y/Y_U = 95.211 \cdot (F/F_U)^{-2.422}$ ,  $R^2=0.63$

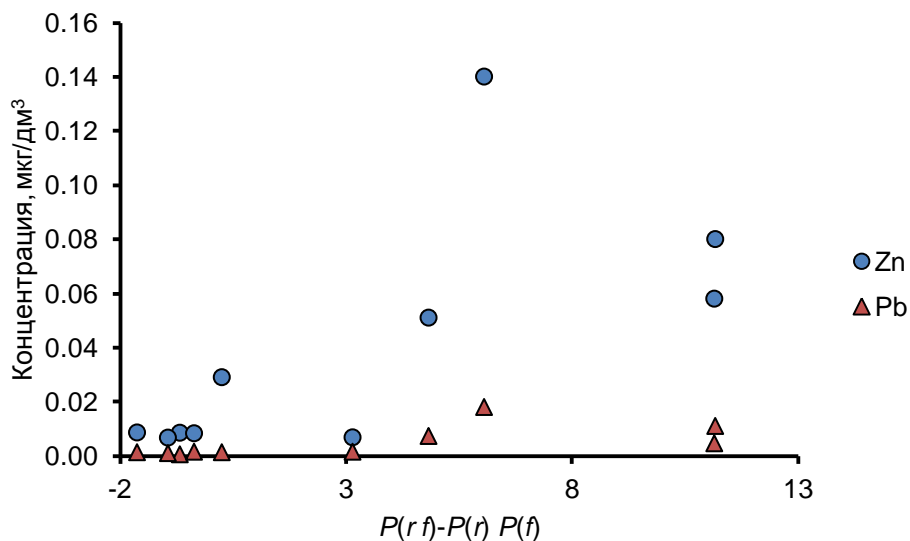


Рисунок 4.12 – Зависимости концентраций Zn и Pb от разницы вероятности пересечения тектонических нарушений  $P(r,f)$  и произведения величин  $P(r)$  и  $P(f)$  ( $Zn=0,0062 \cdot (P(r,f) - P(r) \cdot P(f)) + 0,0193$ ;  $R^2=0,47$ ;  $Pb=0,0008 \cdot (P(r,f) - P(r) \cdot P(f)) + 0,0023$ ;  $R^2=0,41$ ) [Савичев, Нгуен, 2015a]

Влияние других антропогенных факторов исключить нельзя, но, с учётом незначительной площади земель сельскохозяйственного назначения и расчётной массы загрязняющих веществ в коммунально-бытовых сточных водах и дождевом стоке с

селитебных территорий (табл. 3.7, рис. 3.12. 3.13), их роль в формировании эколого-геохимического состояния подземных вод, особенно микроэлементного состава, оно уступает влиянию добычи полезных ископаемых.

### 4.3. Донные отложения

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 (табл. 4.11). Анализ взаимосвязей геохимических показателей донных отложений изученных рек позволил, как и в случае речных вод, выявить статистически значимые зависимости содержаний ряда химических элементов в водных вытяжках из донных отложений от соотношения площадей  $F/F_U$  (рис. 4.13) и сопряжённости речной сети и тектонических нарушений (рис. 4.14).

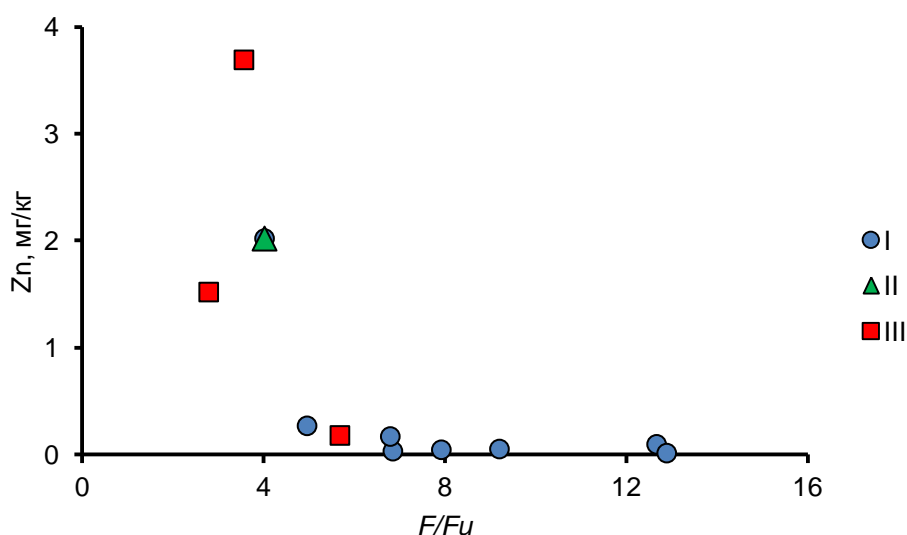


Рисунок 4.13 – Зависимость между содержанием Zn в водной вытяжке донных отложений и соотношением  $F/F_U$ ;  $F$  – площадь водосбора;  $F_U$  – площадь водосборной территории в верховьях реки без выраженной русловой сети; концентрации Zn в створах: I – без явно выраженного антропогенного влияния; II – в 1,2 км выше по течению от горно-обогатительной фабрики; III – на участках влияния горно-обогатительных фабрик

Таблица 4.11 – Физико-химические и геохимические показатели водных вытяжек из донных отложений в междуречье рек Ло и Кау в феврале 2016 г.

Показатель	Ед. изм.	Номер пробы (рис. 2.3)										
		M1604	M1603	M1602	M1601	M1605	M1611	M1609	M1608	M1607	M1610	M1606
Дата отбора	-	19.02	19.02	19.02	19.02	19.02	20.02	20.02	20.02	20.02	20.02	20.02
pH	ед. pH	7.55	7.95	7.85	7.75	7.8	7.4	7.6	7.6	7.65	8	7.5
$\Sigma_{mi}$	мг/кг	499.35	679.85	762	862.9	806.35	1922.4	915.1	781.95	751.55	434.5	383.25
$Ca^{2+}$	мг/кг	144.5	203.5	217.5	255	242	540	257.5	228.5	180	105	97.5
$Mg^{2+}$	мг/кг	5.45	6.1	5.85	6.5	4.85	23.5	12.3	7	8.5	3.25	7.6
$Na^{+}$	мг/кг	3.25	2.95	2.95	6	4.75	9.35	7	5.9	9.05	2.45	6.5
$K^{+}$	мг/кг	19.9	19.25	19.1	23	31.5	61	34	25.2	47.5	19.7	27.5
$HCO_3^{-}$	мг/кг	275	365	315	335	315	415	315	365	415	275	200
$SO_4^{2-}$	мг/кг	48.5	81	200	235	205	870	285	145	85	27.5	41.5
$Cl^{-}$	мг/кг	2.75	2.05	1.6	2.4	3.25	3.55	4.3	5.35	6.5	1.6	2.65
$NO_3^{-}$	мг/кг	0.25	0.25	0.25	0.25	2	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
$NO_2^{-}$	мг/кг	0.95	0.95	0.15	2.5	0.5	1.1	0.4	0.45	0.65	0.45	0.55
$NH_4^{+}$	мг/кг	20.85	1.6	3.75	17.5	10.6	39	22	20.25	23.4	5.25	29.7
$PO_4^{3-}$	мг/кг	2.65	1.9	0.35	6.1	1	0.125	1.2	0.25	0.35	0.125	0.95
ПО	мг/кг	254.15	143.8	101.3	212.65	260.25	460	256.2	293.35	249.1	110	55.2
БО	мг/кг	322	362	400.5	262	399.5	365	355.5	391	383.5	399	305.5
Li	мг/кг	0.0046	0.0059	0.005	0.0019	0.0015	0.0041	0.0035	0.0046	0.0055	0.005	0.0063

Показатель	Ед. изм.	Номер пробы (рис. 2.3)										
		M1604	M1603	M1602	M1601	M1605	M1611	M1609	M1608	M1607	M1610	M1606
Al	мг/кг	3.03	2.51	0.85	1.3	0.3	0.23	0.78	0.37	0.32	1.47	2.41
Si	мг/кг	13.25	11.21	6.35	12.03	8.43	13.7	15.56	11.1	9.99	9.7	12.14
P	мг/кг	0.630	0.441	0.174	0.322	0.415	0.440	0.260	0.387	0.362	0.248	0.131
V	мг/кг	0.023	0.0092	0.0044	0.0032	0.0028	0.0075	0.0053	0.0066	0.0069	0.0048	0.0088
Cr	мг/кг	0.0047	0.005	0.0057	0.0025	0.0019	0.0022	0.0023	0.0033	0.0034	0.0034	0.0056
Mn	мг/кг	17.32	12.68	5.24	3.76	0.4	7.75	10.93	2.44	5.13	1.95	0.95
Fe	мг/кг	12.54	6.54	1.88	1.6	0.61	1.66	1.54	3.1	2.13	3.16	3.21
Co	мг/кг	0.083	0.081	0.05	0.033	0.02	0.025	0.025	0.077	0.23	0.088	0.031
Ni	мг/кг	0.044	0.022	0.018	0.043	0.027	0.027	0.019	0.025	0.032	0.014	0.0053
Cu	мг/кг	0.098	0.34	0.14	0.12	0.1	0.054	0.099	0.1	0.099	0.084	0.039
Zn	мг/кг	2.02	3.69	1.52	0.27	0.033	0.18	0.053	0.097	0.046	0.17	0.015
As	мг/кг	0.72	0.24	0.073	0.045	0.025	0.11	0.1	0.088	0.041	0.028	0.012
Se	мг/кг	0.0067	0.004387	0.0051	0.015	0.0055	0.022	0.01	0.015	0.0075	0.003832	0.001687
Rb	мг/кг	0.067	0.063	0.042	0.067	0.071	0.21	0.1	0.066	0.11	0.066	0.045
Sr	мг/кг	0.33	0.29	0.23	0.46	0.34	0.91	0.44	0.26	0.27	0.13	0.31
Ag	мг/кг	.00021	0.002	0.00068	0.00003	0.000098	0.000069	1.79E-05	0.000054	0.000039	0.00043	0.000056
Cd	мг/кг	0.0083	0.019	0.0049	0.0021	0.00028	0.0017	0.00099	0.0016	0.001	0.0039	0.00015
Sn	мг/кг	0.00052	0.0009	0.00021	0.00022	0.00007	1.25E-05	0.0001	0.00003	0.000055	0.0002	0.00022
Sb	мг/кг	0.035	0.012	0.0087	0.012	0.013	0.033	0.0089	0.0087	0.0065	0.0058	0.0032
Cs	мг/кг	0.0018	0.0016	0.00066	0.002	0.0015	0.0028	0.002	0.0014	0.0013	0.0013	.00058

Показатель	Ед. изм.	Номер пробы (рис. 2.3)										
		M1604	M1603	M1602	M1601	M1605	M1611	M1609	M1608	M1607	M1610	M1606
Ba	мг/кг	0.2	0.11	0.11	0.16	0.095	0.73	0.45	0.22	0.3	0.08	0.057
La	мг/кг	0.012	0.0088	0.0033	0.0065	0.0016	0.0027	0.0025	0.0034	0.0033	0.0038	0.0044
Ce	мг/кг	0.027	0.023	0.0082	0.019	0.0045	0.0062	0.006	0.0084	0.0086	0.01	0.011
Sm	мг/кг	0.0023	0.002	0.00083	0.0014	0.00035	0.00041	0.00037	0.00079	0.0006	0.00079	0.00085
Eu	мг/кг	0.00066	0.00046	0.00021	0.00029	0.000082	0.0002	0.00013	0.00016	0.00016	0.00016	0.00017
Tb	мг/кг	0.00037	0.0003	0.00012	0.00018	0.000044	0.000091	0.000056	0.000095	0.000079	0.00012	0.000096
Yb	мг/кг	0.001	0.00076	0.00032	0.00051	0.00014	0.00024	0.00013	0.00023	0.0002	0.00032	0.00017
Lu	мг/кг	0.00014	0.00013	0.000049	0.000088	0.000023	0.000041	0.000019	0.000037	0.000034	0.000042	0.000036
Au	мг/кг	.000044	0.00017	0.000082	0.000048	0.000079	0.000082	1.51E-05	0.000035	0.000043	1.25E-5	1.56E-5
Hg	мг/кг	0.00058	0.0032	0.000125	0.0012	0.00029	0.00036	0.0067	0.00026	0.000125	0.00064	0.00041
Pb	мг/кг	1.43	4.07	1.53	0.18	0.027	0.18	0.1	0.14	0.059	0.17	0.037
Bi	мг/кг	0.0017	0.0012	0.00078	0.00011	0.000024	0.00029	7.5E-06	0.0021	0.000085	0.00053	0.000074

Примечание: \* определение в водной вытяжке

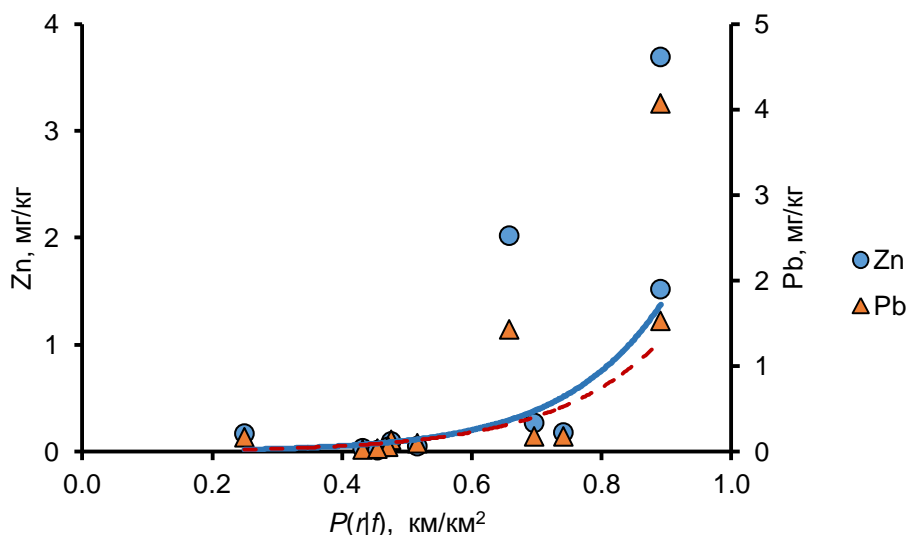


Рисунок 4.14 – Зависимость между условной вероятностью  $P(r|f)$  и содержаниями Zn и Pb в водных вытяжках из донных отложений малых рек; линии тренда: сплошная линия синего цвета –  $Zn=0.00393 \cdot \exp(6.57655 \cdot P(r|f))$ ,  $R^2=0.55$ ; пунктир коричневого цвета –  $Pb=0.00626 \cdot \exp(5.98780 \cdot P(r|f))$ ,  $R^2=0.57$

#### 4.4. Фоновые и аномальные значения геохимических показателей подземных и речных вод, донных отложений рек. Общая оценка состояния водных объектов

Объективное определение фоновых и аномальных значений гидрохимических показателей – одна из важнейших задач гидрохимии, геохимических поисков полезных ископаемых и геоэкологии. Разработке соответствующих методов и их теоретическому обоснованию посвящено большое количество работ, среди последних из которых следует отметить [Барсуков, Григорян, Овчинников, 1981; Колотов, Крайнов, Рубейкин, Самсонов, 1983; Колотов, 1992; Крайнов, Рыженко, Швец, 2004; Геологическая эволюция и самоорганизация..., 2005; Shvartsev, 2008; Зверев, 2011; Loucks, Van Beek, 2005; Домаренко, 2012; Копылова, Гусева, 2014]. На практике в последние десятилетия обычно применяется подход, в соответствии с которым: 1) по результатам статистического анализа или априори принимается гипотеза о нормальном или логнормальном законе; 2) для участков без явного антропогенного влияния рассчитывается среднее арифметическое  $C_a$  или среднее геометрическое  $C_g$  соответственно; 3) выполняется оценка заданного доверительного интервала для  $C_a$  или  $C_g$ ; 4) в качестве фонового значения  $C_b$  принимается  $C_a$  или  $C_g$ , либо верхняя граница доверительного интервала; 5) аномальными считаются



значения, выходящие за пределы доверительного интервала; б) проводится комплексная оценка превышения концентраций веществ в иных водных объектах относительно установленного фона [Инструкция по геохимическим..., 1965; Перельман, 1979; РД 52.24.622-2001; Головин и др., 2002; ГОСТ 28492-90]. Фоновые концентрации в подземных и речных водах, водных вытяжках из донных отложений рек приведены в табл. 4.12, 4.13.

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 (рис. 2.2, табл. 4.14). 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 Бантхи (пункт M1603) и Дай (пункт M1611, рис. 2.3, табл. 4.15), особенно вблизи горно-обогажительных 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, что в первом приближении позволяет связать выявленные высокие значения геохимических показателей с добычей свинцово-цинковых руд. Так, двукратное превышение величины  $C_{GUP}$  (критерий выделения повышенных концентраций) в феврале 2016 г. на реке Бантхи наблюдалось по содержанию Zn и Pb примерно в 1 км ниже по течению от горно-обогажительной фабрики, а на реке Дай – на участке от 3 до 12 км (по содержанию Zn и Pb, соответственно).

Таблица 4.12 – Статистические параметры химического состава подземных вод в междуречье рек Ло и Кау в 2015–2016 гг.

Показатель	Единицы измерения	$C_G$	$C_{GUP}$	$C_{max}$	$N$
pH	ед. pH	7,01	7,31	7,42	10
УЭП	мкС/см	342	439	425	10
$\Sigma_{mi}$	мг/дм <sup>3</sup>	281,3	413,0	393,4	10
Ca <sup>2+</sup>	то же	57,7	98,3	89,5	10
Mg <sup>2+</sup>	–/–	6,5	8,3	10	10
Na <sup>+</sup>	–/–	4,2	6,9	8,83	10
K <sup>+</sup>	–/–	1,7	2,5	3,4	10
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	–/–	196,1	285,7	276	10
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	–/–	4,8	12,4	14,4	10
Cl <sup>-</sup>	–/–	3,7	5,6	19,5	10
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	–/–	3,324	17,040	26,1	9
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	–/–	0,010	0,010	0,021	9
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	–/–	0,062	0,158	0,24	10
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	–/–	0,035	0,060	0,127	9
F <sup>-</sup>	–/–	0,066	0,171	0,21	10
Si	–/–	7,86	15,02	25	10
Fe	–/–	0,060	0,089	0,13	10
Al	–/–	0,0036	0,0569	1,0500	9
ПО	мгО/дм <sup>3</sup>	0,14	0,22	0,50	9

Показатель	Единицы измерения	$C_G$	$C_{GUP}$	$C_{max}$	$N$
BO	мгО/дм <sup>3</sup>	2,22	5,24	5,30	5
P	мг/дм <sup>3</sup>	0,050	0,050	0,050	5
Li	мкг/дм <sup>3</sup>	1,338	5,342	3,754	5
Ti	--/	0,269	0,586	0,539	5
V	--/	0,089	0,281	0,224	5
Cr	--/	0,578	1,059	0,942	5
Mn	--/	3,23	65,99	480,99	4
Co	--/	0,05	0,33	0,93	4
Ni	--/	0,12	0,78	3,30	4
Cu	--/	1,78	6,33	62,00	9
Zn	--/	14,82	45,51	92,00	10
As	--/	0,251	2,662	7,495	4
Se	--/	0,231	0,691	0,500	5
Rb	--/	1,237	5,200	3,909	5
Sr	--/	106,148	225,054	178,505	5
Ag	--/	0,007	0,016	0,235	4
Cd	--/	0,042	0,106	0,350	9
Sn	--/	0,008	0,026	0,054	4
Sb	--/	0,084	0,164	1,680	4
Cs	--/	0,097	0,399	0,948	4
Ba	--/	10,490	41,788	38,126	5

Показатель	Единицы измерения	$C_G$	$C_{GUP}$	$C_{max}$	$N$
La	--/	0,010	0,016	0,150	4
Ce	--/	0,007	0,017	0,017	5
Sm	--/	0,000	0,000	0,020	3
Eu	--/	0,001	0,003	0,008	4
Tb	--/	0,000	1,000	0,003	3
Yb	--/	0,001	0,005	0,010	4
Lu	--/	0,001	0,002	0,002	5
Pb	--/	0,28	1,08	1,20	10
Bi	--/	0,002	0,002	0,002	5

Примечание:  $\Sigma_{mi}$  – сумма главных ионов; ПО и БО – перманганатная и бихроматная окисляемость;  $C_G$  – среднее геометрическое;  $C_{GUP}$  – верхний предел погрешности определения среднего геометрического по формуле (2.5)

Таблица 4.13 – Статистические параметры химического состава речных вод и водных вытяжек из донных отложений в междуречье рек Ло и Кау в 2015–2016 гг.

Показатель	Речные воды					Водная вытяжка из донных отложений				
	Единицы измерения	$C_G$	$C_{GUP}$	$C_{max}$	$N$	Единицы измерения	$C_G$	$C_{GUP}$	$C_{max}$	$N$
pH	ед. pH	7,65	7,81	8,03	21	ед. pH	7,70	7,87	8,00	11
$\Sigma_{mi}$	мг/дм <sup>3</sup>	218,4	300,9	335,7	21	мг/кг	661,8	883,4	1922,4	10
Ca <sup>2+</sup>	то же	44,6	69,5	83,2	21	мг/кг	183,3	257,5	540,0	10

Показатель	Речные воды					Водная вытяжка из донных отложений				
	Единицы измерения	$C_G$	$C_{GUP}$	$C_{max}$	$N$	Единицы измерения	$C_G$	$C_{GUP}$	$C_{max}$	$N$
$Mg^{2+}$	--/	5,0	5,9	7,3	21	мг/кг	5,9	7,9	23,5	9
$Na^+$	--/	2,0	2,9	4,1	21	мг/кг	5,0	7,6	9,4	11
$K^+$	--/	1,3	1,9	3,5	21	мг/кг	25,5	34,0	61,0	10
$HCO_3^-$	--/	150,9	209,5	238,0	21	мг/кг	320,2	387,1	415,0	11
$SO_4^{2-}$	--/	8,8	12,9	26,2	21	мг/кг	104,3	225,9	870,0	10
$Cl^-$	--/	1,4	1,6	2,0	21	мг/кг	3,0	4,5	6,5	11
$NO_3^-$	--/	1,716	2,583	4,340	21	мг/кг	0,250	0,250	2,000	10
$NO_2^-$	--/	0,017	0,026	0,500	20	мг/кг	0,541	0,934	2,500	10
$NH_4^+$	--/	0,060	0,111	0,210	21	мг/кг	12,769	31,284	39,000	11
$PO_4^{3-}$	--/	0,025	0,025	0,080	18	мг/кг	0,554	1,560	6,100	10
P	--/	0,006	0,015	0,050	10	мг/кг	0,317878	0,479356	0,630000	11
Si	--/	6,05	7,50	11,29	21	мг/кг	10,93	13,69	15,56	11
Fe	--/	0,127	0,172	0,662	18	мг/кг	2,144	3,891	12,540	10
Al	--/	0,0308	0,0784	0,4640	19	мг/кг	0,8598	2,0086	3,0300	11
ПО	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	0,42	0,64	1,13	21	мг/кг	188,56	325,15	460,00	11
БО	то же	3,83	5,64	8,20	11	мг/кг	355,86	402,16	400,50	11
Li	мкг/дм <sup>3</sup>	0,970	1,596	1,882	11	мг/кг	0,00402	0,00610	0,00630	11
Ti	то же	0,341	0,539	0,808	11	мг/кг	0,01214	0,02603	0,11000	10
V	--/	0,309	0,518	0,591	11	мг/кг	0,00555	0,00816	0,02300	10

Показатель	Речные воды					Водная вытяжка из донных отложений				
	Единицы измерения	$C_G$	$C_{GUP}$	$C_{max}$	$N$	Единицы измерения	$C_G$	$C_{GUP}$	$C_{max}$	$N$
Cr	--/	0,636	0,830	0,838	11	мг/кг	0,00339	0,00484	0,00570	11
Mn	--/	31,154	55,811	73,942	11	мг/кг	3,92434	11,09017	17,32000	11
Co	--/	0,073	0,076	0,164	11	мг/кг	0,04430	0,07697	0,23000	10
Ni	--/	0,032	0,046	0,771	10	мг/кг	0,02211	0,03764	0,04400	11
Cu	--/	0,978	1,623	2,495	21	мг/кг	0,08822	0,12628	0,34000	10
Zn	--/	13,08	34,07	140,00	20	мг/кг	0,14037	0,63410	3,69000	10
As	--/	3,556	8,193	17,855	11	мг/кг	0,04689	0,09869	0,72000	9
Se	--/	0,304	0,537	0,786	11	мг/кг	0,00700	0,01358	0,02200	11
Rb	--/	2,409	5,179	7,737	11	мг/кг	0,066984	0,088728	0,210000	10
Sr	--/	103,43	135,53	141,34	11	мг/кг	0,29053	0,40768	0,91000	10
Ag	--/	0,0067	0,0103	0,0664	8	мг/кг	0,000046	0,000087	0,002000	7
Cd	--/	0,0513	0,0907	0,4974	18	мг/кг	0,001183	0,003699	0,019000	9
Sn	--/	0,0221	0,0566	0,0868	11	мг/кг	0,000087	0,000243	0,000900	9
Sb	--/	0,2865	0,7025	1,5059	11	мг/кг	0,010526	0,019870	0,035000	11
Cs	--/	0,0882	0,1663	0,7699	11	мг/кг	0,00141	0,00215	0,00280	11
Ba	--/	20,405	31,533	33,640	11	мг/кг	0,13062	0,22263	0,73000	9
La	--/	0,0800	0,1892	0,2452	11	мг/кг	0,003007	0,004181	0,012000	8
Ce	--/	0,1503	0,3437	0,5006	11	мг/кг	0,010232	0,017224	0,027000	11
Sm	--/	0,0112	0,0297	0,0417	11	мг/кг	0,000804	0,001432	0,002300	11

Показатель	Речные воды					Водная вытяжка из донных отложений				
	Единицы измерения	$C_G$	$C_{GUP}$	$C_{max}$	$N$	Единицы измерения	$C_G$	$C_{GUP}$	$C_{max}$	$N$
Eu	--/	0,0051	0,0083	0,0096	11	мг/кг	0,000165	0,000233	0,000660	9
Tb	--/	0,0021	0,0048	0,0059	11	мг/кг	0,000115	0,000207	0,000370	11
Yb	--/	0,0035	0,0098	0,0115	11	мг/кг	0,000208	0,000299	0,001000	11
Lu	--/	0,0007	0,0016	0,0025	11	мг/кг	0,000047	0,000085	0,000140	11
Au	--/	0,0025	–	0,0025	11	мг/кг	0,000037	0,000074	0,000170	10
Hg	--/	0,0025	–	0,0025	5	мг/кг	0,000299	0,000578	0,006700	8
Pb	--/	2,490	5,024	58,690	19	мг/кг	0,158401	0,571616	4,070000	10
Bi	--/	0,0022	0,0045	0,1705	10	мг/кг	0,000222	0,001161	0,002100	11

Примечание:  $\Sigma_{mi}$  – сумма главных ионов; ПО и БО – перманганатная и бихроматная окисляемость;  $C_G$  – среднее геометрическое;  $C_{GUP}$  – верхний предел погрешности определения среднего геометрического по формуле (2.5)

Таблица 4.14 – Геохимические аномалии в подземных водах в междуречье рек Ло и Кау

Номер пробы (рис. 2.2)	Пункт	Возраст водоносных отложений	Глубина отбора пробы, м	$L(r-min)$ , км	$L(\Phi)$ , км	Вещества и кратность превышения фоновых концентраций:
NN01	Бантхи	$aQ$	7,5	0,8	1,5	$Z=1$
NN02	Бантхи	$D_{1-2}$	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; $Z=13,1$
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 (2.6); использованные геохимические показатели приведены в табл. 4.12;  $L(r-min)$  – минимальное расстояние от пункта отбора пробы до тектонических нарушений;  $L(\Phi)$  – расстояние до ближайшей горнообогатительной фабрики



Таблица 4.15– Геохимические аномалии в речных водах и водных вытяжках донных отложений в междуречье рек Ло и Кау

Номер пробы (рис. 2.3)	Река	Расстояние от истока, км	Вещества и кратность превышения фоновых концентраций в:	
			речных водах	водных вытяжках из донных отложений
M1604	Бантхи	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	Бантхи	7,8	Zn 2,2; Pb 2,4; NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 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	Бантхи	9,0	Zn 2,1; Z=2,1	Zn 2,4; Pb 2,7; Ag 7,8; Z=10,9
M1601	Бантхи	13,14	Z=1	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 2,7; Hg 2,1; Z=3,8
M1605	Ченгу	8,0	Z=1	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 8,0; Z=8,0
M1611	Дай	16,1	Zn 2,6; Pb 11,7; SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 2,0; P 3,2; Ni 16,8; As 2,2; Ag 6,4; Cd 5,5; Bi 37,6; Z=82,7	$\Sigma_{mi}$ 2,2; Ca <sup>2+</sup> 2,1; Mg <sup>2+</sup> 3,0; SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 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
M1608	Дай	32,8		
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 (2.6); использованные геохимические показатели приведены в табл. 4.13

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,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , а уровень накопления веществ относительно геохимического фона, согласно [9], соответствует вблизи горно-обогатительных фабрик слабо и сильно загрязнённым донным отложениям. Ниже по течению от фабрик донные отложения соответствуют минимальному уровню загрязнения (табл. 4.14). Речные воды вблизи источников загрязнения содержат повышенные (по сравнению с геохимическим фоном) концентрации Zn, Pb, Fe, Ni, Co, As, Bi, Cd, Cs, Sb, Ag,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и оцениваются как средне и сильно загрязнённые, а в прочих пунктах – минимально загрязнённые. Уровень загрязнения речных вод снижается по мере удаления водных масс от источников загрязнения за счёт разбавления сточных вод, процессов осаждения и соосаждения загрязняющих веществ.

Таким образом, на основе обобщений и анализа данных о химическом составе подземных и речных вод, донных отложений в междуречье рек Ло и Кау можно сформулировать *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,  $\text{NO}_2^-$ . Состояние подземных вод в целом удовлетворительное.**

## 5. Анализ условий формирования эколого-геохимического состояния водных объектов в уезде Чодонь провинции Баккан

Согласно [Шварцев, 2012], исследование условий формирования геохимического состояния водных объектов обычно подразумевает ответ на вопросы, каковы источники химических элементов (прежде всего, это – горные породы), факторы (физико-географические – рельеф, климат, водообмен и т.д.; геологические – геологическая структура, тектонические движения, тип пород, магматизм и др.; физико-химические – химические свойства элементов и соединений, кислотнo-щелочные условия и т.д.; физические – температура, давление, время, пространство; биологические – влияние живого вещества, почвенные процессы; антропогенные), процессы, определяющие поступление веществ в водный раствор и этапы формирования химического состава вод. В рассматриваемой диссертационной работе основной упор был сделан на анализ влияния: 1) поступления сточных вод горнообогатительных фабрик; 2) водообмена и геологической обстановки.

### 5.1. Влияние горнообогатительных фабрик на химический состав вод и донных отложений

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 (табл. 4.13, 4.14). Для более детального изучения влияния горной промышленности была рассмотрена модель распространения загрязняющих веществ в водном потоке [Jakob, 1997; Loucks, Van Beek, 2005; Benedini, Tsakiris, 2013] в виде:

$$C = \frac{k_S}{k_C} \cdot S + \left( C_0 - \frac{k_S}{k_C} \cdot S \right) \cdot \exp \left( x \cdot \frac{v}{2 \cdot D} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 + \frac{4 \cdot k_C \cdot D}{v^2}} \right) \right), \quad (5.1)$$

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/дм<sup>3</sup>), 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 по формулам:

$$D = \frac{9,81 \cdot v \cdot h}{k_M \cdot k_{Ch}}, \quad (5.2)$$

$$k_M = \begin{cases} 0,7 \cdot k_{Ch} + 6, & 10 \leq k_{Ch} \leq 60 \\ 48, & k_{Ch} > 60 \end{cases}, \quad (5.3)$$

где  $k_{Ch}$  – коэффициент Шези;  $h$  – средняя глубина реки [Караушев, 1969].

Анализ результатов моделирования и их сопоставление с данными наблюдений, во-первых, подтвердил возможность использования модели (5.1) для расчёта изменений концентраций Zn и Pb (рис. 5.1, 5.2). Во-вторых, выявлена зависимость (5.4), интерпретируемая с учётом [White, 1995] как функция связи между величиной  $k_C$  и площадью контакта воды и твёрдых частиц  $A$ :

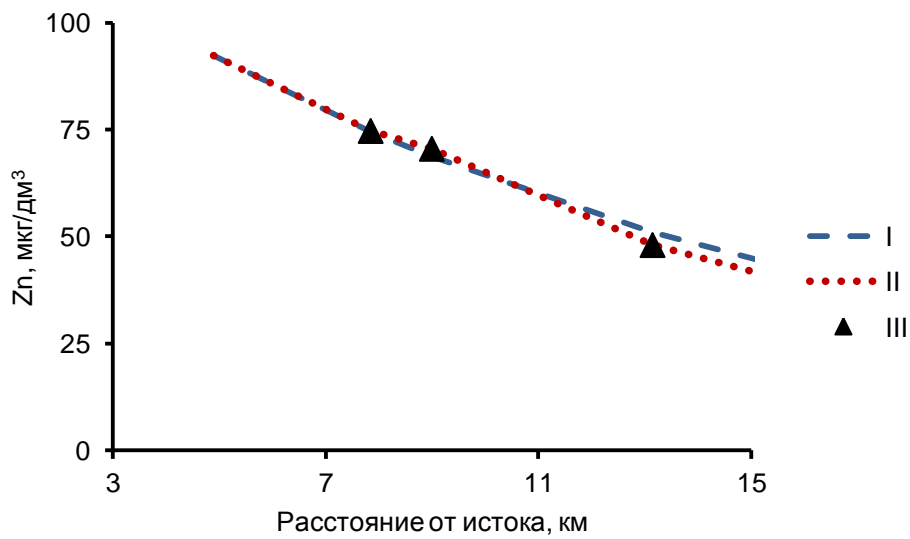
$$k_C = k_{C,0} \cdot \left(\frac{Q}{F}\right)^{k_1} \cdot \left(\frac{k_M \cdot k_{Ch}}{v^2}\right)^{k_2} = k_{C,0} \cdot A, \quad (11)$$

где  $Q$  – расход воды;  $F$  – площадь водосбора;  $k_{C,0}$  – удельная скорость изменения концентрации вещества в речной воде при отсутствии течения;  $k_1, k_2$  – эмпирические коэффициенты. Компонент  $\left(\frac{Q}{F}\right)^{k_1}$  является характеристикой суммарного количества взвешенных и влекомых наносов, а  $\left(\frac{k_M \cdot k_{Ch}}{v^2}\right)^{k_2}$  – функцией, обратной диаметру речных наносов (с учётом [Караушев, 1969]).

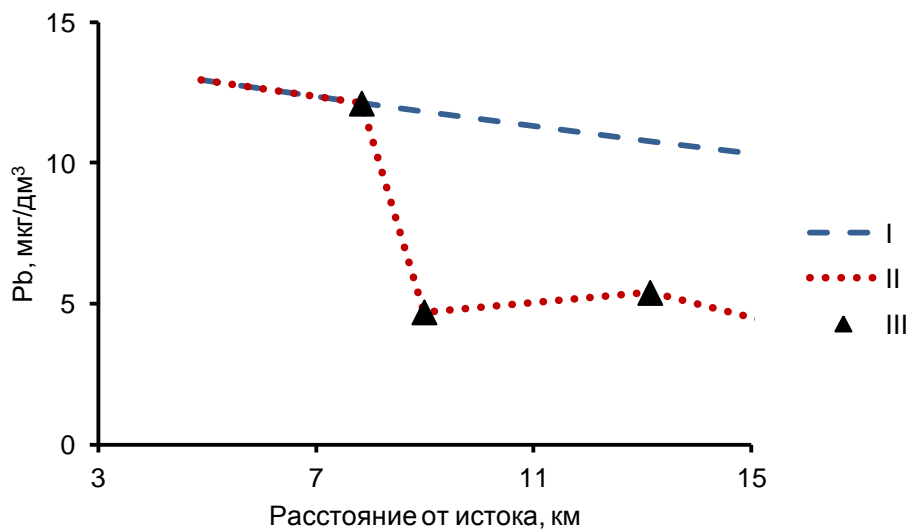
В-третьих, с помощью (5.1) получена более точная оценка влияния горно-обогатительных фабрик на состояние исследуемых рек. Так, в водах реки Бантхи снижение концентраций Zn до уровня  $2 \cdot C_{GUP}$  достигается на участке длиной около 4,2–4,5 км, снижение концентраций Pb при изменении площади контакта воды с твёрдыми частицами – в 3,3 км от источника загрязнения, а при постоянной площади – 11,3 км (рис. 5.1, 5.2). В водах реки Дай снижение концентраций Zn до уровня  $2 \cdot C_{GUP}$  наблюдается в 3,2–3,3 км от источника загрязнения, снижение концентраций Pb – в 11,2–12,2 км.

Таким образом, статистически значимое антропогенное влияние проявляется на участках до 11–12 км, наиболее выраженное – до 4,5 км. При этом 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 М1604 на реке Бантхи , расположенном в 1,2–1,4 км выше по течению от горно-обогатительной фабрики (табл. 4.13).

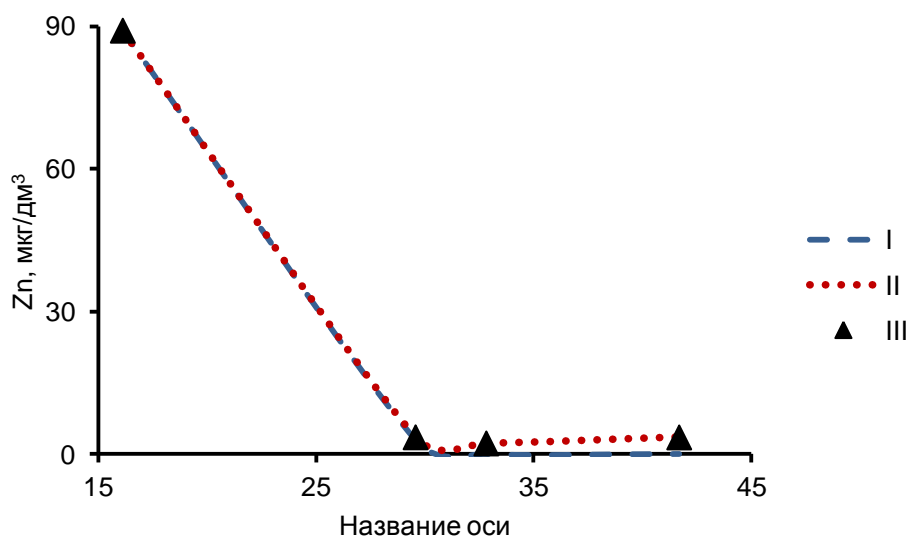


a)

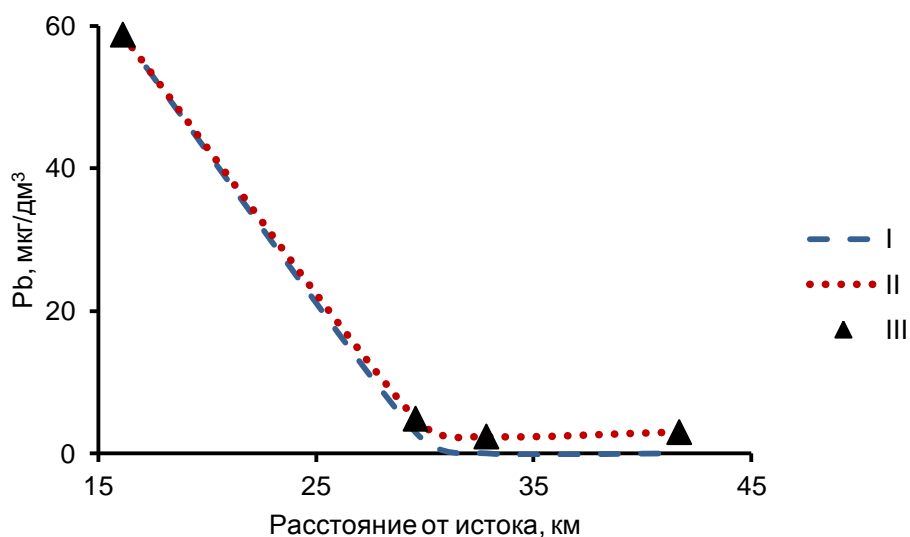


b)

Рисунок 5.1 – Вычисленные и измеренные концентрации Zn (a) и Pb (b) в водах р. Бантхи в феврале 2016 г.: I – расчёт по модели (5.1) при постоянном значении  $k_C$  для створа 4,9 км от истока; II – расчёт по модели (5.1) при переменных значениях  $k_C$ ; III – измеренные значения.



a)



b)

Рисунок 5.2 – Вычисленные и измеренные концентрации Zn (a) и Pb (b) в водах р. Дай в феврале 2016 г.: I – расчёт по модели (5.1) при постоянном значении  $k_C$  для створа 4,9 км от истока; II – расчёт по модели (5.1) при переменных значениях  $k_C$ ; III – измеренные значения.

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), которые при определенных допущениях могут быть

ориентировочно описаны уравнением (2.11). В изученных водотоках междуречья рек Ло и Кау подобная зависимость была выявлена в 2015 г. для речных вод, а в 2016 г. – для донных отложений, причём: 1) концентрации Zn, измеренные близи источников загрязнения и на значительном удалении выше и ниже по течению от них, фактически образуют одну совокупность (рис. 4.8); 2) точки, соответствующие природным аномалиям и участкам с максимальным антропогенным влиянием, расположены преимущественно в верхней части графика зависимостей вида (2.11).

Снижение концентраций Zn, Pb и ряда других химических элементов в водах рек Дай и Бантхи 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 (5.1) 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 (табл. 4.8). При этом необходимо отметить, что воды рек Дай и Бантхи в целом ближе к равновесию или более пересыщены относительно карбонатных минералов, чем воды других изученных рек с меньшей антропогенной нагрузкой.

В целом, на основе анализа данных наблюдений (рис. 4.4, 4.5, табл. 4.13, 4.14) и результатов математического моделирования гидрогеохимических процессов сформулировано *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.**

## **5.2. Влияние водообмена и геологических условий на химический состав подземных и речных вод, донных отложений рек**

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 эволюция..., 2005; Крайнов, Рыженко, Швец, 2004]. Наиболее важными характеристиками интенсивности водообмена (с точки зрения его влияния на химический состав вод) являются модуль водного стока (сток воды в единицу времени с единичной площади) и модульные коэффициенты расходов воды (отношение расходов воды в конкретный момент времени или в среднем за какой-либо период к математическому ожиданию). Зависимость между модульными коэффициентами расходов воды и концентрациями вещества в водной среде по виду близка к функции гамма-распределения (рис. 5.3), но большая часть наблюдений, как правило, соответствует кривой спада, имеющей вид обратной степенной зависимости. Аналогичная зависимость характерна и для средних геометрических значений гидрохимических показателей, но уже с нормой модуля водного стока.

Наиболее значительные изменения химического состава природных вод происходят на стадии формирования склонового, подповерхностного и подземного стока, когда в зависимости от скорости движения воды формируется комплекс базовых химических реакций и физико-химических процессов, определяющих гидрогеохимический «фон». На стадии руслового стока этот комплекс может меняться, но уже не так значительно. Причём стандартное отклонение гидрохимических показателей прямо пропорционально соответствующему среднему геометрическому и коэффициенту вариации расходов воды. Последняя величина обратно пропорциональна площади водосбора. Соответственно, можно сделать вывод о том, что изменчивость концентраций растворённых веществ несколько уменьшается для больших водных объектов (как поверхностных, так и подземных) по сравнению с меньшими по размеру [Савичев, 2012; Савичев, Нгуен, 2015a,b].



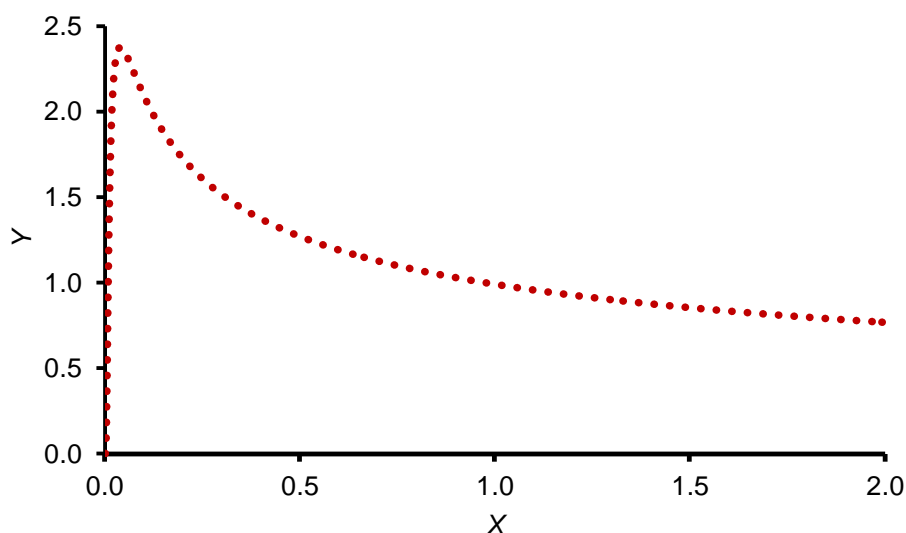


Рис. 5.3. Фрагмент кривой связи величин  $Y$  и  $X$  для средних рек в бассейне Оби;  $Y=C/C_g$ ;  $X=Q/Q_a$ ;  $Y = X^{k_0} \cdot \exp\left(\frac{k_1}{k_2} \cdot (X^{k_2} - 1)\right)$ , где  $k_0, k_1, k_2$  – эмпирические коэффициенты;  $Y=C/C_0$  и  $X=Q/Q_0$  – модульные коэффициенты концентрации и расхода воды;  $C_0$  и  $Q_0$  – математическое ожидание концентрации вещества и расхода воды; математическое ожидание величин  $Y$  и  $X$  равно 1; стандартное отклонение  $X$  представляет собой коэффициент вариации расхода воды  $Cv(Q)$ . [Савичев, Нгуен, 2015b]

Ещё один аспект влияния водного стока на химический состав вод заключается в увеличении уровней содержания веществ при: 1) усилении сопряжённости речной сети и тектонических нарушений; 2) уменьшении отношения общей площади водосбора (в числителе) к его части в истоках реки без выраженной русловой сети (в знаменателе). Обе особенности характеризуют условия взаимодействия воды с горной породой (с первичными алюмосиликатными минералами и продуктами химических реакций).

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. 4.12, 4.14), причём также обнаружена связь между условной вероятностью  $P(r|f)$  и эмпирической вероятностью концентраций (рис. 5.4). Удовлетворительная сходимость измеренных и расчётных концентраций Zn и Pb в речных водах и донных отложениях достигнута и при использовании зависимости (2.11) как для случаев, когда  $Y_U \approx Y$ , так и для расчётных значений  $Y_U$ . 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.

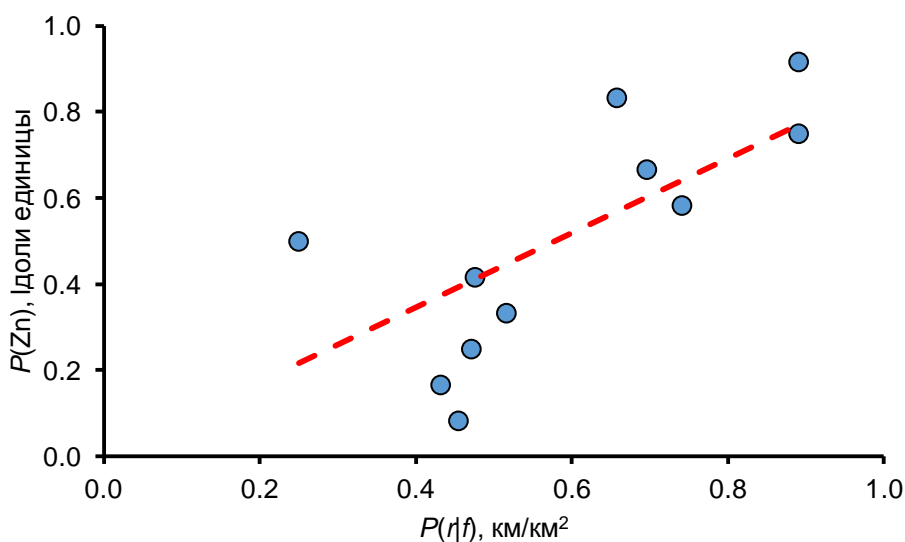


Рис. 5.4. Зависимость между эмпирической вероятностью концентраций Zn в донных отложениях и условной вероятностью  $P(r|f)$ ;  $P(Zn)=0.86 \cdot P(r|f)$ ,  $R^2=0.53$

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<sub>a</sub>, 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  $0,74 \pm 0,11$ ; 2) 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.

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

## Выводы

На основе данных геохимических исследований, выполненных в 2010–2016 гг., получена общая характеристика химического состава и качества подземных и речных вод, водных вытяжек из донных отложений рек в междуречье рек Ло и Кау (северная часть Вьетнама). Показано, что, во-первых, 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,  $\text{NO}_2^-$ . 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, максимальная протяжённость загрязнённых участков – до 11–12 км.

В-третьих, показано, что вероятность обнаружения аномальных концентраций Pb и Zn в донных отложениях и речных водах в междуречье рек Ло и Кау значительно возрастает при условии, что показатель сопряжённости речной сети и тектонических нарушений  $P(r/f)$  более 0,6 км/км<sup>2</sup>, а соотношение площади водосбора и его верхней части без выраженной русловой сети  $F/F_0$  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 Социалистической республики Вьетнам 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 литературы

1. Алёкин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 444 с.
2. Алексеенко В.А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – М.: Логос, 2005. – 354 с.
3. Барсуков В.Л., Григорян С.В., Овчинников Л.Н. Геохимические методы поисков рудных месторождений. – М.: Наука, 1981. – 318 с.
4. Белоусова А.П., Гавич И.К., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Экологическая гидрогеология. – М.: Академкнига, 2006. – 397 с.
5. Белякова Е.А., Резников А.А., Крамаренко Л.Е., Нечаева А.А., Кронидова Т.Ф. Гидрогеохимический методов поисков рудных месторождений. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 267 с.
6. Бузин В.А. Опасные гидрологические явления. – СПб.: РГГМУ, 2008. – 228 с.
7. Веницианов Е.В. Физико-химические процессы в поверхностных водах // Водные проблемы на рубеже веков. – М.: Наука, 1999. – С. 241–255 с.
8. Вернадский, В.И. Химические элементы, их классификация и формы их нахождения в земной коре // Очерки геохимии / В.И. Вернадский. – Л.: Горгеонефтеиздат, 1934. – С. 23–50.
9. Виноградова О.В., Хмелева Н.В. Русловые процессы и формирование аллювиальных россыпей золота. М.: МГУ, 2009. – 171 с.
10. ВСН 163-83. Учёт деформаций речных русел и берегов водоёмов в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов). – М.: ВНИИСТ Миннефтегазстрой, Госкомгидромет СССР, Госстрой СССР, 1985. – 142 с
11. Ву Нгок Хай и др/ характеристика зоны окисления полиметаллических рудников Чодонь // Научный журнал техники горной.- Ханой, 1977.- № 48.- С. 27-37.
12. Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия. – М.: Мир, 1968. – 368 с.
13. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода. В 5 т. Т. 1. Система вода–порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование / отв. ред. С.Л. Шварцев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 244 с.
14. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды / под ред. Т.В. Гусевой. – М.: ФОРУМ, ИНФРА-М, 2007. – 192 с.
15. Глазовский Н.Ф. Техногенные потоки веществ в биосфере // Добыча полезных ископаемых из геохимии природных сред. – М.: Наука, 1982, С. 7-28.

16. Головин А.А., Москаленко Н.Н., Ачкасов А.И. и др. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1: 200000. – М.: ИМГРЭ, 2002. – 92 с.
17. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. Machines, instruments and other industrial products. Modifications for different climatic regions. Categories, operating, storage and transportation conditions as to environment climatic aspects influence. – М.: Стандартиформ, 2010. – 109 с.
18. ГОСТ 17.1.1.02-77. Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 25 с.
19. ГОСТ 17.1.2.04.-77. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов. – М.: Изд-во стандартов. 1977. – 17 с.
20. ГОСТ 17.1.5.01-80. Государственный стандарт Союза СССР. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязнённость. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 5 с.
21. ГОСТ 179179-73. Гидрология суши. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 65 с.
22. ГОСТ 24482-80. Макроклиматические районы земного шара с тропическим климатом. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей. Macroclimatic regions of the world with tropic climate. Regionalizing and statistical parameters of climatic factors for technical purposes. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 76 с.
23. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. Soils. Classification. – М.: Стандартиформ, 2013. – 85 с.
24. ГОСТ 28492-90. Геохимические методы поисков твёрдых полезных ископаемых. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2006. – 5 с.
25. ГОСТ 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 34 с.
26. ГОСТ Вьетнама 08:2008 VTNMT. Национальный технический стандарт (Вьетнам) на качество поверхностных вод.
27. ГОСТ Вьетнама 09: 2008 VTNMT. Национальный технический стандарт (Вьетнам) на качество подземных вод.
28. ГОСТ Вьетнама. QCVN 01:2009/ ВУТ. Национальный технический стандарт (Вьетнам) на качество питьевых вод. – Ханой: Министерство здравоохранения

- Вьетнама, 2009. – 9 с. / на вьетнам. яз.
29. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Издательство стандартов, 2000. – 34 с.
  30. ГОСТ Р 53795-2010. Изучение недр геологическое. Термины и определения. Geological study of subsurface. Terms and definitions. - М.: Стандартинформ, 2010. – 28 с.
  31. Государственная техническая норма качества воды (QCVN 38:2011/ ВТНМТ). – Ханой: Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, 2011. – 6 с. / на вьетнам. яз.
  32. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Потребление воды: экологический, экономический, социальный и политический аспекты. – М.: Наука, 2006. – 221 с.
  33. Дао Динг Бак/ Изучение характеристик и закон распределения в свинцово-цинковый минерализацией экосистем Вьетнам Северного Вьетнама: диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук: Вьетнам: Ханойский горно дела- геологический ун-т, 2011. - 190 с
  34. Дао Мань Тиен. Методология и особенности геохимической специализации гранитоидных формаций Северного Вьетнама: диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук: 04.00.08 Баку: Азербайджанский гос. ун-т, 1984. – 198 с.
  35. До Куок Бинь и др/ Исследования установили перспективы свинцово-цинковой руды, золото и другие полезные ископаемые, связанные в районе Фия За – На Канг, провинции Каобанг и Баккан // Институт геологических наук и полезных ископаемых, 2003.- 271 с.
  36. Довзиков А.Е/ Геология северного Вьетнама // Ханой Департамент геологии.-1965.
  37. Долгоносов Б.В., Корчагин К.А. Вероятностные закономерности неблагоприятных гидрохимических явлений // Водные ресурсы. – 2005. – Т. 32. - № 4, С. 452 – 458 с.
  38. Домаренко В.А. Рациональная методика поисков и геолого-экономической оценки месторождений руд редких и радиоактивных элементов. – В 2-х ч. Ч. I. Прогнозирование. Поиски и оценка. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2012. – 167 с.
  39. Дривер Дж. Геохимия природных вод / пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 440 с.
  40. Зверев В.П. Массопотоки подземной гидросферы. – М.: Наука, 1999. – 97 с.
  41. Зверев В.П. Подземная гидросфера. Проблемы фундаментальной гидрогеологии. – М.: Научный мир, 2011. – 260 с.
  42. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1965. – 228 с.

43. Караушев А.В. Речная гидравлика. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 416 с.
44. Климатические характеристики Земного шара. Азия (без СССР), Африка, Австралия, Океания, Южная Америка. Справочник для синоптиков / под ред. А.Н. Лебедева. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 320 с.
45. Колотов Б.А. Гидрогеохимия рудных месторождений. – М.: Недра, 1992. – 93 с.
46. Колотов Б.А., Крайнов С.Р., Рубейкин В.З., Самсонов Б.Г. Основы гидрогеохимических поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1983. – 199 с.
47. Копылова Ю.Г., Гусева Н.В. Гидрогеохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. – Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2014. – 184 с.
48. Корчуганова Н.И. Аэрокосмические методы в геологии. – М.: Геокарт, 2006. – 244 с.
49. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. – М.: Наука, 2004. – 677 с.
50. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами. – М.: Наука, 1982. – 271 с.
51. Лехов А.в. Физико-геохимическая гидрогеодинамика. – М.: КДУ, 2010. – 500 с.
52. Май Тхе Чуен và nnk / Геология и минералы группы листов Бао Лак, масштаб 1: 50 000 // Архив Ханой.- 1997.
53. Май Чонг Ту и др / Исследование геохимии и минерально-сырьевого потенциала, связанные с вулканическими образованиями в районе Ту Ле, (севере Вьетнаме) // Институт геологических наук и полезных ископаемых, 2007.- 192 с.
54. Маккавеев А.А. Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии. – М.: Недра, 1971. – 216 с.
55. Международное руководство по методам расчёта основных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 248 с.
56. Мелиорация и водное хозяйство. Т.5. Водное хозяйство. / под ред. И.И. Бородавченко. – М.: ВО «Агропромиздат», 1988. – 399 с.
57. Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей. – М.: МПР РФ, 2008. – 35 с.
58. Методические рекомендации по расчёту платы за неорганизованный сброс загрязняющих веществ в водные объекты. – М.: Госкомэкологии, 1998. – 13 с.
59. Методическое руководство по геологической съёмке и поискам. – М.: Госгеолтехиздат, 1954. – 507 с.
60. Мироненко В.А., Румынин В.Г. Проблемы гидрогеоэкологии. Т.1. – М.: МГГУ, 1998.
61. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 2. Ч. II. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 264 с



62. Нгуен Ван Куй и др/ Геология и минералы группы листов На Ханг – Бабе масштаб 1: 50 000 // Архив Ханой.- 1994.
63. Нгуен Ван Нхан / Характеристика нескольких рудных месторождений свинца - цинка - сурьма Северо-Восточный Вьетнам // Институт геологических наук и полезных ископаемых, 1977. -255с
64. Нгуен Ван Фо и др/ Исследование дисперсии свинца и оценки состояния загрязнения свинцом в свинцово-цинковый рудник в районе Чодонь, Баккан // Филиал института геологии. Академический институт науки и технологий Вьетнама , 2006.- 162 с.
65. Нгуен Дак Донг и др/ Геология и минералы группы листов Чам Тау, масштаб 1: 50 000 // Архив Ханой .- 2000.
66. Нгуен Динь Хоп/ Геология и минералы группы листов Ту Ле- Ван Бан, масштаб 1:50.000 // Архив Ханой.- 1994
67. Нгуен Кинг Куок. Карта геологических условий и минеральных ресурсов в масштабе 1:200.000. Лист провинция Баккан F48-XV. Ханой: Главное управление геологии и полезных ископаемых Вьетнама, 2001. / на вьетнам. яз.
68. Нгуен Конг Лыонг и др/ Геология и минералы группы листов Ван Иен, масштаб 1: 200 000. Ханой Департамент геологии.- 1994.
69. Нгуен Мань Ха, Ву Тхань Хай, За Динь Тхай, Тханг Тхи Минь Хень. Ежегодный мониторинг окружающей среды в провинции Баккан. 2013–2014 гг. // Баккан: Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды провинции Баккан. JSC “Enviroment analyzing and technique”, 2014. – 372 192с. / на вьетнам. яз.
70. Нгуен Суан Кхиен и др. Оценка текущего состояния геологических опасностей провинции Хазанг, Каобанг, Туенкуанг и Баккан; причины, прогнозы и мероприятия по предотвращению и смягчению последствий. – Ханой: Институт геологических наук и полезных ископаемых, 2011. – 235 с.
71. Нгуен Тхы Зао, Фам Дык Лыонг. Выявление геологических комплексов, геохимические и характеристики минеральных образований в геологических формациях изверженных пород (Лао Кай – Иен Бай – Шон Ла). – Ханой: Институт геологических наук и полезных ископаемых, 1994.- 185с
72. Нгуен Хонг Куанг, Тонг Тхи Тху Ха, Та Хунг Кыонг, Тхан Ван Кет, Фам Дык Чонг. Оценка текущего состояния окружающей среды в горнодобывающей промышленности в Северо-Восточной районе (Вьетнам). – Ханой: Институт геологических наук и минеральных ресурсов, 2011. – 118 с. / на вьетнам. яз.
73. Нгуен Хуй Шинь. Условия формирования свинцово - цинковых руд на севере Вьетнаме. – Ханой: Институт геологических наук и полезных ископаемых, 1984. –

195 с.

74. Нгуен Чонг Зунг. Составление карт геологии и полезных ископаемых, масштаб 1: 50000. Листы Баккан. Сборник северных геологических карт. – 2006. С 21-22 / на вьетнам. яз.
75. Никаноров А.М., Страдомская А.Г. Химический состав органических и минеральных веществ иловых отложений незагрязненных водных объектов // Водные ресурсы. – 2006. – Т. 33. – № 1. – С. 71–77.
76. Патент на изобретение RU 2548608 С2. Способ выделения геохимических аномалий на основе анализа химического состава речных отложений. Авторы: Савичев О.Г., Домаренко В.А., Решетько В.А. Патентообладатель: ФГБОУ ВПО НИ ТПУ. Оpubл. 20.04.2015 г. Бюл. №11. Приоритет 26.07.2013 г. – М.: Федеральная служба по интеллектуальной собственности РФ, 2015. – 8 с.
77. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман. – М. : «Высшая школа», 1975. – 342 с.
78. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1979. – 423 с.
79. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. СанПиН 2.1.4.1074-01. С изм. На 28.06.2010. – М.: Минздрав РФ, 2010. – 255 с.
80. Подземные воды Мира: ресурсы, использование, прогнозы Э под ред. И.С. Зекцера. – М.: Наука, 2007. – 438 с.
81. Поликарпочкин В.В. Вторичные ореолы и потоки рассеяния. – Новосибирск: Наука. 1976. – 407 с.
82. Пособие к СНиП 2.05.03-84 по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (ПМП-91). – М.: ГУПиКС, 1992. – 374 с.
83. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик / под ред. А.В. Рождественского и А.Г. Лобановой. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
84. Поцелуев А.А., Ананьев Ю.С., Житков В.Г., Назаров В.Н., Кузнецов А.С. Дистанционные методы геологических исследований, прогноза и поиска полезных ископаемых (на примере Рудного Алтая). – Томск: STT, 2007. – 228 с.
85. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. ГН 2.1.5.1315-03. – М.: Минздрав РФ, 2003. – 93 с.
86. Притула Т.Ю., Ерёмкина В.А., Спрялин А.Н. Физическая география материков и

- океанов. – М.: ВЛАДОС, 2004. – 686 с.
87. Р 52.24.353-2012. Отбор проб поверхностных вод и очищенных сточных вод. Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Росгидромет. – Ростов-на-Дону: ФГБУ «ГХИ», 2012. – 34 с.
  88. РД 52.24.609-99. Методические указания. Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. –33 с.
  89. РД 52.24.609-99. Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. –33 с.
  90. РД 52.24.622–2001. Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. – М.: Фед. служба России по гидрометеорологии и мониторингу окр. среды, 2001. – 68 с.
  91. РД 52.24.622-2001. Проведение расчётов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. Методические указания. – М.: Росгидрометслужба, 2001. – 68 с.
  92. Рихванов Л.П. Общие региональные проблемы радиоэкологии. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – 384 с.
  93. Руководство по определению гидрографических характеристик картометрическим способом. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 93 с.
  94. Рычагов Г.И. Общая геоморфология. – М.: МГУ, 2006. – 416 с.
  95. Савенко А.В. Экспериментальное изучение сорбции Hg на минеральных взвешях в зоне смешения речных и морских вод // Водные ресурсы. – 2000. – Т. 27. – № 6. – С. 755–758.
  96. Савенко В.С. Геохимические проблемы глобального гидрологического цикла // Проблемы гидрологии и гидроэкологии / под ред. Н.И. Алексеевского. – М.: МГУ, 1999, С. 48–72.
  97. Савичев О. Г., Колоколова О. В., Жуковская Е. А. Состав и равновесие донных отложений р. Томь с речными водами // Геоэкология. – 2003. – № 2. – С. 108–119.
  98. Савичев О.Г. Методология оценки фактического и допустимого влияния хозяйственной деятельности на химический состав и качество пресных природных вод // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 8 (3). – С. 704–708.
  99. Савичев О.Г. Проблемы нормирования сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты // Вода: химия и экология. – 2010. - № 9. – С. 35–39.
  100. Савичев О.Г., Домаренко В.А. Закономерности изменения химического состава речных отложений и их использование в поисках полезных ископаемых //

- Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6 (3), С. 520-525.
101. Савичев О.Г., Луен Ван Нгуен. Химический состав и качество подземных вод в междуречье рек Гам и Кау (Северный Вьетнам) // Вестник Томского гос. ун-та. – 2015с. – № 398. – С.251-256.
  102. Савичев О.Г., Нгуен В.Л. Гидроэкологическое состояние междуречья рек Гам и Кау (Северный Вьетнам) // Известия Томского политехнического университета. – 2015а. – Т. 326. – №7, С. 96-103.
  103. Савичев О.Г., Нгуен В.Л. О методике определения фоновых и аномальных значениях гидрохимических показателей // Известия Томского политехнического университета. – 2015b. – Т. 326. – №9, С. 133-142.
  104. Савичев О.Г., Паромов В.В. Метод определения характерных расходов воды рек гумидных областей Западной Сибири при отсутствии данных наблюдений // Фундаментальные исследования. – 2013. - № 10(14), С. 3157-3160.
  105. Словарь геологических терминов и понятий / под ред. В.П. Парначёва. – Томск: Изд-во ТГУ, 1995. – 83 с.
  106. СНиП 2.07.01-89\*. Планировка и застройка городских и сельских поселений. – М.: ОАО «ЦПП», 2008. – 56 с.
  107. СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Sewerage. Pipelines and wastewater treatment plants. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85. – М.: Минрегион России, 2012 . – 110 с.
  108. СП 33-101-2003. Определение основных расчётных гидрологических характеристик. – М.: Госстрой РФ, 2004. – 72 с.
  109. Справочник по гидрохимии / под ред. А.М. Никанорова,. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 391 с.
  110. Страховенко В.Д. Геохимия донных отложений малых континентальных озёр Сибири. Автореф. дис. .... доктора геол.-мин. наук. – Новосибирск: Институт геологии и минералогии СО РАН, 2011. – 30 с.
  111. Строкова Л.А., Фи Х.Т. Особенности инженерно-геологических условий г. Ханой (Вьетнам). – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 336 с
  112. Технический регламент Всемирной метеорологической организации. Том III. Гидрология. ВМО № 49. – Секретариат ВМО: Женева – Швейцария, 2006. – 130 с.
  113. Тхай Куй Лам и др. Свинцово-цинковых минеральный потенциал Вьетнама // Журнал геологии и минеральных ресурсов. Ханой. – 1995. – № 4. – С.164-173.
  114. Фадеев В.В., Тарасов М.П., Павелко В.Л. Зависимость минерализации и ионного состава воды рек от их водного режима. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 391 с.

115. Фан Кы Тиен. Геологическая карта северо-западный Вьетнам, серия геологических карт «Да» река масштаба 1: 200 000. – Ханой: Издательство технических наук, 1977.- С.9-64.
116. Федеральный закон «О недрах» № 2396-1. – М.: Гос. Дума РФ, СФ, 2011. – 64 с.
117. Федеральный закон № 74-ФЗ. Водный кодекс Российской федерации (с изменениями на 25.06.2012 г.). – М.: Гос. Дума РФ, СФ, 2012. – 54 с.
118. Фридланд В.М. Почвы и коры выветривания влажных тропиков (на примере Северного Вьетнама). – М.: Наука, 1964. – 312 с.
119. Хо Вьонг Бинг и др/ методы нанесения геохимический поиск свинцово-цинковой руды Чодонь, провинции Баккан // Институт геологических наук и полезных ископаемых, 1977.- 168с
120. Хо Вьонг Бинг. Геохимические характеристики сульфидных шахт влажных тропиков Северного Вьетнама, методы геохимических поисков свинцово-цинковых руд на примере Банглунг – Бан Ма: диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук. – Ханой: Ханойский горно-геологический ун-т, 1982. – 120 с.
121. Хоанг Тхи Туэт Нга и др/ Исследования перераспределение некоторых металлических элементов в процессе выветривания сульфидных руд свинца и цинка в районе Чодонь. – Ханой: Филиал института геологии. Институт науки и технологий Вьетнама, 2006. – 55 с.
122. Хоанг Чунг Ай и др. Оценка свинцово-цинковой руды потенциала в районе Бан Лим, Фия Дам, провинции Каобанг и Баккан. – Ханой, 2010.- 139 с.
123. Чан Ван Чи/ Геология Вьетнам, северная часть, вместе с геологической и минеральной карте масштаб 1: 1000 000. – Ханой: Издательство технических наук, 1977. – 355с.
124. Чан Туан Ань и др/ Исследование сопутствующих элементов в минерализациях основных металлов и редких драгоценных металлов в Северном Вьетнаме в целях повышения эффективности добычи и переработки полезных ископаемых и охраны среда // Филиал института геологии. Академический институт науки и технологий Вьетнама, тема КС 08.24/06-10. –2010. – 459 с.
125. Чан Хонг Фу. Гидрогеологическая карта Вьетнама масштаба 1: 500 000. – Геологическое управление юга Вьетнам, 1984.
126. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: Наука, 1998. – 366 с.
127. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология. – М.: Альянс, 2012. – 601 с.
128. Янин Е.П. Русловые отложения равнинных рек. – М.: ИМГРЭ, 2002а. – 139 с.

129. Янин Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). – М.: ИМГРЭ, 2002b. – 52 с.
130. Benedini M., Tsakiris G. Water Quality Modelling for Rivers and Streams. – Dordrecht: Springer, 2013. – 288 p.
131. Do Van Phi, Dang Mai / Autozoning method based on the algorithm of cluster analysis in geochemical study on Doi Bu, Khau Au and south Cho Don ore areas / Journal of geology № 260.-2000.- p 83-88
132. Do Van Phi/ Research modeling of geochemical anomalies ore directives, serve the geological mapping and mineral survey in Vietnam // Institute of Geosciences and Mineral resources in Hanoi, 2000.- 235p.
133. Fromaget J/ L'Indochine française, sa structure, ses roches, ses mines et leurs relations possibles avec la tectonique // Bulletin du Service géologique d'Indochine.-1941.- 140 p.
134. Grenthe I., Puigdomenech I. Symbols, standards and conventions // in Modelling in aquatic chemistry / ed. I. Grenthe, I. Puigdomenech. – Paris: Nuclear energy agency, 1997, Pp. 35–68.
135. Guide to Hydrological Practices. Vol. I. Hydrology – From Measurement to Hydrological Information. WMO-No. 168. Sixth edition. 2008, World Meteorological Organization, Geneva, 296 p.
136. Jakob A. Modelling Solute Transport Using the Double Porous Medium Approach / in Modelling in aquatic Chemistry / ed. I. Grenthe and I. Puigdomenech. – Paris: Nuclear energy agency, 1997, P. 525 – 576.
137. Lasaga A.C. Fundamental approaches in describing mineral dissolution and precipitation rates // Reviews in Mineralogy. Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals / Mineralogical Society of America. – 1995. – Vol. 31. – P. 23–86.
138. Lerman A. Geochemical Processes Water and Sediment Environments. – New York : Wiley – Interscience Public, 1979. – 481 p.
139. Loucks D.P., Van Beek E. Water Resources Systems Planning and Management. An introduction to Methods, Models and applications. – Turin: UNESCO, 2005. – 680 p.
140. Martin J.-M., Meybeck M. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers // Mar. chem.. – 1979. – Vol. 7. – P. 173–206.
141. Mujumdar P.P., Kumar D.N. Floods in a Changing Climate. Hydrologic Modeling. – New York: Cambridge University Press, 2012. – 177 p.
142. Nash J.E., Sutcliffe J.V. River flow forecasting through conceptual models part I – A discussion of principles // Journal of Hydrology, 1970, 10 (3), p. 282–290.
143. Patte E / Etudes géologiques dans l'Est du Tonkin // Bull. SGI, XVI/1. -Hanoi. -1927. -

314 p.

144. Ramesh R., Ramanathan Al., Ramesh S., Purvaja R., Subramanian V. Distribution of rare earth elements and heavy metals in the surficial sediments of the Himalayan river system // *Geochemical Journal*. – 2000. – Vol. 34. – P. 295–319.
145. Savichev O.G. Influence of the interactions within the water - earth materials system on the formation of river water composition in the Ob basin // *Geography and Natural Resources*. – 2009. – Vol. 30, № 2. – P. 161-166.
146. Shvartsev S.L. Geochemistry of fresh Groundwater in the Main Landscape Zones of the Earth // *Geochemistry International*. – 2008. – Vol. 46. – No. 13, pp. 1285 – 1398.
147. *Water Quality Assessments. A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. 2nd edition / Ed. by D. Chapman. UNESCO. WHO. UNEP. – London: Chapman & Hall, 1996, 651 p.
148. Weight W.D. *Hydrogeology Field Manual*. 2nd edition, McGraw-Hill Companies, Inc, USA: 2008. – 751 p.
149. White Ar. F. Chemical weathering rates of silicate minerals in soils // *Reviews in Mineralogy. Chemical Weathering Rates of Silicate Minerals*. Mineralogical Society of America. – 1995. – Vol. 31. – P. 405–462.