

УТВЕРЖДАЮ
И.о. директора ИНГГ СО РАН
чл.-корр. РАН, д.г.-м.н.
Никитенко Борис Леонидович



«13» мая 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук

Диссертация **«Техногенные экосистемы: динамика развития и ресурсный потенциал (на примере хранилищ отходов горнорудного производства в Кемеровской области и Забайкальском крае)»** на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук выполнена в лабораториях геоэлектрохимии и эколого-экономического моделирования техногенных систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН).

Юркевич Наталия Викторовна, 1983 года рождения, гражданка России, окончила факультет естественных наук Новосибирского государственного университета им. Ленинского комсомола (НГУ) (в настоящее время – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (НГУ)) по специальностям «Экология и рациональное природопользование» (бакалавр) и «Химия окружающей среды» (магистр).

В 2009 г. в специализированном совете Д 003.067.02, созданном на базе Института геологии и минералогии Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН), защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 «Геохимия и геохимические методы поисков полезных ископаемых» на тему «Геохимия вод и осадков техногенных карьерных озер Салаирского рудного поля».

В период подготовки диссертации соискатель Юркевич Наталия Викторовна работала в лаборатории геохимии техногенеза Института геологии ОИГГМ СО РАН в должности лаборанта-исследователя и старшего лаборанта-исследователя с 11.03.2004 г. по 04.05.2007 г., в лаборатории геодинамики и палеомагнетизма ИНГГ СО РАН в должности инженера I категории с 07.05.2007 г. по 07.07.2008 г., младшего научного сотрудника с 01.02.2011 г. по 30.09.2011 г., в лаборатории геоэлектрохимии ИНГГ СО РАН в должности младшего научного сотрудника с 01.10.2011 г. по 03.07.2012 г., научного сотрудника с 04.07.2012 г. по 26.07.2015 г., старшего научного сотрудника с 27.08.2015 г. по 30.03.2020 г.,

ведущего научного сотрудника с 01.04.2020 г. по 08.04.2024 г., заведующего лаборатории с 11.01.2021 по 08.04.2024 г.

Материалы диссертации представлены соискателем на открытом научном семинаре ИНГТ СО РАН 13 мая 2024 г., протокол № 1.

Присутствовали:

д.т.н., академик РАН М.И. Эпов, д.г.-м.н. С.Б. Бортникова, д.г.-м.н. О.Е. Лепокурова, д.э.н. И.В. Филимонова, к.г.-м.н. А.В. Еделев, к.э.н. М.В. Мишенин, к.т.н. Г.В. Нестерова, к.г.-м.н. В.В. Оленченко, к.э.н. И.В. Проворная, к.г.-м.н. О.П. Саева, к.г.-м.н. Н.А. Абросимова, к.г.-м.н. Цибизова Е.В., к.т.н. Цибизов Л.В., С.П. Коханова, Т.А. Глухова, С.И. Старостина, И.И. Фадеева, д.г.-м.н., чл.-корр. РАН Л.М. Бурштейн, д.т.н. Н.Н. Неведрова, д.ф.-м.н. Е.Ю. Антонов, к.г.-м.н. М.А. Фомин, к.ф.-м.н. Е.И. Штанько, к.ф.-м.н. С.И. Марков, д.ф.-м.н. В.В. Плоткин, к.г.-м.н. И.С. Иванова, д.т.н. И.Н. Ельцов, к.г.-м.н. Т.В. Корнеева, А.А. Карташевич, Ю.Г. Карин, А.Н. Дробчик.

Сотрудники других организаций: д.г.-м.н. О.Л. Гаськова, д.г.-м.н. Э.В. Сокол, д.г.-м.н. Е.П. Шевко, д.г.-м.н. С.Ю. Артамонова, к.г.-м.н. А.Я. Шевко, к.г.-м.н. А.Е. Богуславский (ИГМ СО РАН), к.г.-м.н. М.П. Гора, к.т.н. Н.В. Юркевич, д.г.-м.н. А.М. Плюснин (ГИН СО РАН).

Вопросы задали: д.т.н., академик РАН М.И. Эпов, д.э.н. И.В. Филимонова, д.г.-м.н. О.Л. Гаськова, д.г.-м.н. Э.В. Сокол, к.г.-м.н. А.Е. Богуславский, д.г.-м.н. А.М. Плюснин, д.г.-м.н. О.Е. Лепокурова.

Выступили: д.э.н. И.В. Филимонова, д.г.-м.н. С.Б. Бортникова, д.г.-м.н. О.Е. Лепокурова, д.г.-м.н. О.Л. Гаськова, д.г.-м.н. Э.В. Сокол, к.г.-м.н. А.Е. Богуславский.

С диссертацией ознакомились специалисты: д.г.-м.н. С.Б. Бортникова, д.г.-м.н. О.Е. Лепокурова, д.э.н. И.В. Филимонова. Специалисты дали положительную оценку диссертационной работе Н.В. Юркевич.

По итогам обсуждения диссертационного исследования «Техногенные экосистемы: динамика развития и ресурсный потенциал (на примере хранилищ отходов горнорудного производства в Кемеровской области и Забайкальском крае)», принято следующее **заключение:**

Юркевич Н.В. решена **научная проблема** – определены закономерности эволюции техногенных экосистем Западной Сибири. **Объектами** исследований являются заброшенные сульфидсодержащие отходы горнорудного производства Кемеровской области и Забайкальского края.

Актуальность диссертационного исследования продиктована необходимостью построения геолого-генетической модели техногенных экосистем - систем, состоящих из элементов сульфидсодержащих отходов разработки полиметаллических месторождений и компонентов окружающей природной среды, которые находятся в связях друг с другом,

образуют целостность и участвуют в обмене веществ и энергии. Чрезвычайно привлекательны для исследований такие объекты по двум причинам: с точки зрения их вторичной переработки, как техногенных месторождений, и с позиций рисков для окружающей среды. Практическая значимость работы определяется выявлением закономерностей геохимической эволюции техногенной экосистемы с описанием физико-химических условий концентрирования металлов на основании данных о геоэлектрической структуре объекта и научно-обоснованными рекомендациями по выработке оптимальной стратегии по их вторичной переработке и рекультивации нарушенных территорий.

Научная новизна. Соискателем установлено строение техногенных систем с выявлением зон окисления и геохимических барьеров на основании данных комплексного применения электроразведочных методов с верификацией геохимическим опробованием, доказана миграция дренажного потока за пределы техногенной системы и загрязнение подземных вод с использованием неинвазивных методов исследования и верификацией гидрохимическим опробованием, показана взаимосвязь между геохимическими, электрофизическими параметрами техногенного тела и факторами окружающей природной среды (температура, влажность), оценена суточная и сезонная вариабельность систем, показано, что техногенные системы являются источниками серо-, селен-, азот- и углеродсодержащих газов за счёт ряда биотических преобразований компонентов системы. Обнаружено формирование сероуглерода, газа второго класса опасности, в приповерхностном слое воздуха над отвалами. Доказан механизм метилирования серосодержащих соединений бактериями *Bacillus Mycoides* с образованием диметилсульфида. Оценены объемы техногенных тел, ресурсы ценных и токсичных компонентов, рассчитаны экологический ущерб и рентабельность переработки хвостов цианирования, флотации и гравитационного обогащения барит-полиметаллических, полиметаллических и золотоносных руд Салаирского рудного поля (Кемеровская область), Дарасунского и Шахтаминского месторождений (Забайкальский край).

Личный вклад автора заключается в постановке задач, создании системы наблюдений за техногенными экосистемами при помощи геофизических и геохимических методов, отборе проб для лабораторных анализов, проведении полевых измерений физико-химических параметров техногенного вещества, порового и дренажного растворов, расчете форм нахождения элементов в системе раствор – твердая фаза, постановке лабораторных и численных экспериментов по моделированию геохимических барьеров, интерпретации полученной информации.

Достоверность полученных результатов обеспечивается представительностью собранного фактического материала и применением комплексного подхода на основе современных геофизических, геохимических и эконометрических методов исследования, точность которых обеспечивается внутренним и внешним контролем анализов и расчётов. В основу диссертационной работы положены результаты исследований по тематике геохимии техногенеза и экологической геофизики, проводимых с 2003 года автором лично в составе научного коллектива ОИГГМ, а затем ИГМ и ИНГГ СО РАН. Соискателем получены и проинтерпретированы результаты анализов 500 водных проб, 1000 образцов вещества отходов, геоэлектрические разрезы по 50 профилям электротомографии протяженностью в общей сложности 12 км, 100 проб атмосферного воздуха на шести хранилищах отходов в Кемеровской области и Забайкальском крае. Сделано 4000 элементо-определений, что является достаточным для статистической и геохимической оценки. Геоэлектрические разрезы верифицированы результатами геохимического и

гидрохимического опробования. Выводы сформулированы на основании совместной интерпретации результатов полевых и лабораторных исследований, термодинамических и эконометрических расчётов.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретическая значимость работы связана с разработкой концепции, которая позволила выявить закономерности эволюции техногенных экосистем Западной Сибири. Практическая значимость работы для РФ (и, в частности, для Западной Сибири) заключается в создании научно обоснованной схемы экспертной оценки экологической опасности складирования отходов при добыче сульфидсодержащих руд с учетом экономической составляющей. Разработанная геохимико-геофизическая методика была использована для определения геоэлектрической зональности Гайского хвостохранилища (Оренбургская область) по заказу ООО «Рециклинг» для оценки объемов техногенного тела и ресурсов ценных компонентов. Информация о составе отходов Урских отвалов, в частности концентрации в них барита с предложениями по технологии обогащения была учтена при расчёте технико-экономического обоснования по заказу «Газпромнефти» с целью производства буровых растворов. Продолжаются работы по выделению минералов с минимальным количеством примесей. Комплекс мероприятий по оконтуриванию зон фильтрации дренажных вод в теле хвостохранилища был проведен по заказу ГК ПАО «Норникель». Научно-обоснованные рекомендации по паспортизации заброшенных хранилищ горнодобывающей промышленности и составлению реестра предложены в качестве поправок к «Стратегии социально-экономического развития Сибири и Арктики» и предложены в резолюции правительству РФ по итогам заседания научного совета по глобальным экологическим проблемам (НС ГЭП РАН) в 2023 г.

Ценность научных работ соискателя заключается в создании комплексной методологии исследования техногенных экосистем с применением современных геофизических, геохимических и эконометрических методов, разработке концепции, которая позволила выявить закономерности эволюции техногенных экосистем Западной Сибири с установлением геоэлектрической зональности техногенных экосистем, локализацией зон окисления, геохимических барьеров, областей фильтрации дренажных растворов; в определении объемов техногенных экосистем, ресурсов ценных и токсичных элементов, расчёте экологических ущербов, целесообразности переработки и рекультивации нарушенных земель.

Апробация результатов работы

Основные положения диссертации были доложены и обсуждены на научных конференциях: II Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2006); Молодежной школе-конференции по геоэкологии (Санкт-Петербург, 2006, 2007); Всероссийской научно-практической конференции (Екатеринбург, 2006); Всероссийской конференции аспирантов и студентов «Рациональное природопользование» (Ярославль, 2006); Международной геохимической конференции Goldschmidt (Кёльн, 2007); Международной конференции и школе молодых ученых Cites (Томск, 2007); Международной научной конференции «Топорковские чтения» (Рудный, 2008); Международной научной конференции Water-Rock Interaction-13 (Гуанаято, Мексика, 2010); Международной научной конференции «International Water Technology Conference» (Александрия, Египет, 2011); Международной научной конференции «Problems of ecology in mineral industry» (Варна, Болгария, 2011); Третьей международной конференции "Environmental Management, Engineering, Planning and Economics (CEMEPE 2011) &

SECOTOX (Скиатос, Греция, 2011); Международной конференции «Water Resources & the Environment 2012» (Марракеш, Марокко, 2012); Всероссийской конференции «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами» (Томск, 2012); XIII Международной конференции «Mineral processing symposium» (Бодрум, Турция, 2012); Water-Rock Interaction (Эвора, Португалия, 2017); Конференции Goldschmidt (США, Бостон, 2018); SGEM (Вена, Австрия и Альбена, Болгария, 2018); Far East Conf (Владивосток, 2019); SPE Kuwait Oil and Gas Show and Conference, KOGS 2019; 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying, Geology and Mining, Ecology and Management (SGEM 2020, Альбена, Болгария); Second Eurasian RISK-2020 Conference and Symposium (12 - 19 April 2020; Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia); Earth and Environmental Science International Science and Technology Conference on Earth Science (online), 2020; Интерэкспо ГЕО-Сибирь (Новосибирск, 2017, 2020, 2021); XXVIII Всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 8-14 апреля 2019, приглашенный доклад), Engineering and Mining Geophysics, 2021 (online); РОЭЭ (Новосибирск, 2023); АнтропоКонф: человек, природа, технологии (Тюмень, 2022, 2023); Деловой форум «Дни Сибири и Арктики» (Москва, 2023); Научный совет по глобальным экологическим проблемам РАН, Москва, 2023 г.

Основные результаты диссертационного исследования получены в ходе руководства проектами РНФ «Механизмы формирования техногенного барита» (23-27-00340) (2022-2024 гг.), ФНИ «Эколого-экономические проблемы природно-техногенных систем: накопленный ущерб, ресурсы, возможности переработки и рекультивации» (FWZZ-2022-0029) (2022-2025), РФФИ «Современное состояние техногенных систем: экологические риски, перспективы переработки и рекультивации» (20-05-00336) (2020-2022 гг.), «Хвостохранилища горнорудного производства: построение связей между данными геофизической съемки и химическим составом» (№ 12-05-31137 мол-а) (2012-2014 гг.), «Техногенные геохимические аномалии: модели формирования и методы минимизации вредного воздействия на окружающую среду» (№ 12-05-33019 мол-а-вед) (2012-2014 гг.), проектов фонда президента РФ «Гео-техногенные системы: механизмы миграции и осаждения химических элементов по геохимическим данным и результатам электроразведки» (МК-6654.2016.5) (2016-2017 гг.), «Техногенные системы: мониторинг и прогноз воздействия на биосферу по данным геофизической съемки и геохимических исследований» (МК-5724.2014.5) (2014-2016 гг.), «Антропогенные геохимические аномалии: мониторинг и минимизация воздействия на окружающую среду» (МК-3242.2011.5) (2011-2012 гг.); в результате участия в качестве исполнителя в проектах РНФ «Модель трансформации техногенных экосистем: определяющие механизмы формирования водных и газовых потоков» (19-17-00134) (2019-2021), РФФИ «Газовый перенос химических элементов в техногенных системах: формы миграции, сравнительная подвижность, оценка масштабов» (17-05-00056) (2017-2019), а также проектов РФФИ (04-05-64076, 08-05-00688, 12-05-31366) и фонда Президента РФ (МК-2574.2012.5).

Диссертация соответствует требованиям п.п. 9-14 раздела II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 26.01.2023) и не содержит заимствованного материала без ссылки на авторов.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.6.4 – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых» по геолого-минералогическим наукам, поскольку получены новые научные

результаты, соответствующие **области исследования** в части **п. 7.** Экологическая минералогия, минералогическое обеспечение работ по решению задач утилизации и хранения промышленных и других отходов; **п. 14.** Теория и методы оценки количеств, состояния и форм нахождения химических элементов и их изотопов в природе; разработка принципов и методов физико-химического моделирования геохимических систем и процессов, методов математической обработки геохимических данных и математического моделирования геохимических процессов.; **п. 21.** Теория и практика геохимических методов прогноза, поисков и оценки месторождений полезных ископаемых; геохимические исследования, сопровождающие разведку, разработку, обогащение и переработку полезных ископаемых; **п. 22.** Экологическая геохимия, геохимический мониторинг окружающей среды.

Материалы диссертации достаточно полно изложены в **72 научных работах**, из которых **30 статей в журналах из перечня ВАК** и изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования («Геология и геофизика», «Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования», «Химия в интересах устойчивого развития», «Известия РАН. Серия физическая», «Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов», «Экология и промышленность России», «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири», «Applied geochemistry», «Toxicological and environmental chemistry», «Journal of geochemical exploration», «Science of the Total Environment», «Water, Air and Soil Pollution», «Minerals», «The Journal of Environmental and Engineering Geophysics», «Environmental Science and pollution research», «Chemical Geology», «Mine water and the Environment», «Applied sciences», «Water»), **1 глава в монографии, 11 статей в сборниках.**

Основные публикации по теме диссертации

Глава в монографии

1. Рихванов, Л.П. Биогеохимический мониторинг в районах хвостохранилищ горнодобывающих предприятий с учетом микробиологических факторов трансформации минеральных компонентов / Л.П. Рихванов, Н.А. Абросимова, Н.В. Барановская, Л.Н. Белан, Т.С. Большунова, С.Б. Бортникова, Е.А. Горбатюк, М.А. Густайтис, А.В. Еделев, А.М. Межибор, И.Н. Мягкая, Б.Р. Соктоев, Д.В. Юсупов, С.М. Жмодик, Н.В. Ишук, И.С. Кириченко, Д.В. Наркович, Е.В. Лазарева, В.В. Оленченко, О.П. Саева, Б.Ю. Сарыг-оол, Т.В. Усманова, **Н.В. Юркевич** // Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. - 437 с.

Соискателем описаны результаты геохимических и электротомографических исследований латеральной и вертикальной зональности Комсомольского хвостохранилища (Кемеровская область), позволившие установить взаимосвязи между химическим составом вещества и удельным электрическим сопротивлением (УЭС). Установлена корреляционная связь между УЭС и концентрациями сульфидной и сульфатной серы ($S_{\text{сульфидн}}$, $S_{\text{сульфатн}}$). Определена геохимическая ассоциация As, Fe, Cr, Br, Cd, Hg, Bi, $S_{\text{сульфидн}}$, $S_{\text{сульфатн}}$. Показано, что пирит и арсенопирит вносят существенный вклад в проводимость минерального скелета. Описана взаимосвязь между особенностями распределения вещества в Урских отвалах и результатами исследований геоэлектрической зональности объекта методом электротомографии. Показано, что неокисленный материал характеризуется сопротивлениями 1-10 Ом·м, окисленный – 20-70 Ом·м. Выявлены геохимические барьеры техногенного типа физико-химического класса, на которых

происходит концентрирование элементов с формированием вторичных сульфатов и арсенатов железа, натрия, марганца: $\text{Fe}(\text{SO}_4)\text{H}_2\text{O}(\text{Fe}^{3+})_2(\text{AsO}_4)(\text{SO}_4)(\text{OH}) \times 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{Fe}_4(\text{AsO}_4)_3(\text{OH})_5 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{MnHAsO}_4\text{H}_2\text{O}$.

Статьи в изданиях, входящих в перечень журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций

2. Юркевич, Н.В. Ресурсы барита, цветных и благородных металлов в хвостохранилище Талмовские Пески: минералого-геохимические и геофизические данные / Юркевич Н.В., Хусаинова А.Ш., Бортникова С.Б., Бондаренко В.П., Карин Ю.Г., Коханова С.П. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2023. – № 3 (55). С. 105–114.

Соискателем совместно с соавторами выполнена оценка ресурсов барита (BaSO_4) и металлов (Au, Ag, Cu, Zn, Pb) с помощью современных прецизионных методов исследований на хвостохранилище Талмовские Пески (Салаирский край). Показано, что переработанные руды на хвостохранилище характеризуется большой неоднородностью по вертикали; выделяются первичные (существенно неокисленные) и окисленные пески, с содержаниями Ba 39 и 35 % соответственно. Наиболее продуктивны применительно к бариту классы крупности ниже 0.25 мм. Для барита и металлов описаны формы нахождения и типоморфные характеристики: цвет, морфология, гранулометрическое распределение, минеральные парагенезисы и включения. Геоэлектрические исследования показали горизонтально-слоистое строение хвостохранилища, где рыхлому окисленному веществу низкой влажности (до глубины 70 см) соответствуют значения УЭС 21–50 Ом·м, первичному, существенно неокисленному – 0.1–20 Ом·м. По результатам электротомографии определены объемы обеих сред (48000 и 53000 м³), что в сопоставлении с данными о концентрациях Ba, Pb, Cu, Zn, Au, Ag в них позволило рассчитать ресурсы металлов в пределах исследованного участка и, в некотором приближении, во всем хранилище.

3. Yurkevich, N. Hydrochemical Anomalies in the Vicinity of the Abandoned Molybdenum Ores Processing Tailings in a Permafrost Region (Shahtama, Transbaikal Region) / Yurkevich N., Olenchenko V., Kartoziia A., Korneeva T., Bortnikova S., Saeva O., Tulisova K., Abrosimova N. // Water (Switzerland). – 2023 – Т. 15 – № 8 – С. 1476.

Соискателем в соавторстве была исследована подвижность химических элементов при переходе из отходов переработки молибденовой руды в водные растворы, определены гидрохимические аномалии ряда элементов в поверхностных и подземных водах вблизи заброшенного хвостохранилища. Показано, что высокой подвижностью обладают щелочные и щелочноземельные металлы — основные породообразующие компоненты (натрий, литий, магний, стронций), которые поступают в раствор вследствие выщелачивания из минералов вмещающих пород, а также металлы рудной ассоциации (цинк, кадмий, марганец, никель), переходящие в раствор в результате растворения рудных сульфидов. Показано, что высокой подвижностью отличаются Sb, Co, Cu, Be, Se, Tl, As, Mo, Fe и Pb. Установлено, что природа аномалий мышьяка и молибдена в поверхностных и подземных водах связана с региональными условиями, в то время как источником кадмия и свинца являются складированные отходы. Выявлено, что основными химическими формами элементов в растворе прудов на поверхности хвостохранилищ являются

свободноионные и сульфатные комплексы, в реке Шахтама и подземных водах - карбонатные, бикарбонатные и гидроксидные комплексы.

4. Volynkin, S.S., Determination of Arsenic Species Distribution in Arsenide Tailings and Leakage Using Geochemical and Geophysical Methods / Volynkin S.S., Bortnikova S.B., **Yurkevich N.V.**, Shuvaeva O.V., Kohanova S.P. // Applied Sciences. – 2023. – № 13(2). – С. 1067.

Соискателем на основании интерпретации данных электротомографических и геохимических исследований показано наличие утечек из хвостохранилища с дренажными потоками. Установлено попадание водорастворимых токсичных соединений мышьяка в грунтовые воды и водоносные горизонты.

5. Yurkevich, N. Current State of the Gold Mining Waste from the Ores of the Ursk Deposit (Western Siberia, Russia) / **Yurkevich N.**, Osipova P., Tsibizov L., Tsibizova E., Fadeeva I., Volynkin S., Tulisova K., Kuleshova T. // Applied Sciences. – 2022 – Т. 12. – № 20. – С. 10610.

Соискателем в соавторстве представлены результаты комплексного исследования Урских отвалов, прилегающей территории, дренажных потоков, загрязняемых подземных вод и природных водотоков. Установлена взаимосвязь геоэлектрической структуры техногенной системы с магнитными аномалиями, результатами тепловизионной съемки и цифровой моделью рельефа. Соискателем построена схема латеральной и вертикальной зональности Урской техногенной экосистемы, включающая три зоны: окисления, выщелачивания и природного физико-химического барьера. Установлено, что зона окисления характеризуется низким удельным электрическим сопротивлением (1-10 Ом·м), высокой кислотностью дренажных растворов (рН 3.61), низкими значениями модуля вектора магнитной индукции и нагревом на +5°C по сравнению с твердым отвальным материалом, который не подвергается активному воздействию воды. Показана подвижность железа, присутствующего в дренажных растворах в форме свободных ионов Fe^{2+} за счёт кислых окислительных условий, подвижны также Cu (3000 мкг/л), Pb (1200 мкг/л), As (1300 мкг/л) и Hg (34 мкг/л). Установлено, что зона первичного геохимического барьера образуется в пределах первых 400 м, где осаждается основная доля растворенных элементов. Второй железо-алюминиевый сорбционный геохимический барьер образуется на расстоянии 1000 м в зоне смещения с рекой Ур. Стабильная геохимия поверхностных вод, сформировавшаяся за счет притока дренажных вод в реку Ур и далее в водохранилище, сохраняется на расстоянии до 7,7 км от объекта.

6. Бортникова, С.Б. Летучесть химических элементов при дегидрации вторичных сульфатов / Бортникова С.Б., Абросимова Н.А., Девятова А.Ю., Шевко Е.П., **Юркевич Н.В.**, Черный Н.К., Даниленко И.В., Пальчик Н.А. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 1. – С. 121-133.

Соискателем в соавторстве с С.Б. Бортниковой было определено, что при разрушении вторичных гидросульфатов широкий спектр химических элементов может мигрировать с парогазовыми потоками при температуре 60 °С. Установлено два основных источника металлов в парогазовой фазе: сульфатные минералы и поровые растворы. Показано, что при дегидратации происходит обмен катионов в кристаллической решетке на протоны, присутствующие в кислых поровых растворах.

7. Yurkevich, N. Modeling the Process of Thawing of Tailings Dam Base Soils by Technological Waters / **Yurkevich N.**, Fadeeva I., Shevko E., Yannikov A., Bortnikova S. // Applied Sciences. – 2021. – Т. 11. – № 23. – С. 11089.

Соискателем в соавторстве показано растепление мерзлых пород дамбы хвостохранилища при контакте с высокоминерализованными сульфатными технологическими водами. Показано, что растепляющий эффект связан в том числе с протеканием экзотермических реакций переуравновешивания растворов.

8. Бортникова, С.Б. Гидрохимические и газовые аномалии на сульфидном хвостохранилище (Салаир, Кемеровская область) / Бортникова С.Б., **Юркевич Н.В.**, Еделев А.В., Саева О.П., Грахова С.П., Волынкин С.С., Карин Ю.Г. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 2. – С. 26-35.

Соискателем в соавторстве определена вертикальная зональность по концентрациям металлов и газов (сероуглерода и диметилсульфида) в хвостохранилище Салаирского горно-обогатительного комбината Талмовские Пески (г. Салаир, Кемеровская область), вмещающее отходы цианирования и флотации барит-полиметаллических руд. Установлены гидрохимические аномалии в реке Малая Талмовая в результате миграции потенциально токсичных элементов с водными потоками. Показано, взаимосвязь газогенерации сероуглерода и диметилсульфида с минеральным составом вещества, температурой воздуха и грунта и функционированием биоты. Выявлено, что в результате активных взаимодействий вещества отходов с водой и газами в реке Малой Талмовой, в русле которой расположено хвостохранилище, формируются контрастные гидрохимические аномалии с высокими концентрациями металлов.

9. Yurkevich, N.V. Time-Lapse Electrical Resistivity Tomography and Soil-Gas Measurements on Abandoned Mine Tailings Under a Highly Continental Climate, Western Siberia, Russia / **Yurkevich N.V.**, Bortnikova S.B., Olenchenko V.V., Fedorova T.A., Karin Y.G., Edelev A.V., Osipova P.S., Saeva O.P. // Journal of Environmental and Engineering Geophysics. – 2021. – Т. 26. – № 3. – С. 227-237.

Соискателем в соавторстве на основании результатов интервальной микроэлектротомографии, измерений температуры окружающей среды и концентраций $\text{SO}_{2\text{г}}$, $\text{CS}_{2\text{г}}$, $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}_{\text{г}}$ в приповерхностном слое воздуха установлено, что геоэлектрическое строение верхней части разреза хвостохранилища (до глубины 3 м) меняется в течение суток, а участки наибольшей вариативности удельного электрического сопротивления соответствуют зонам максимальных эманаций газов.

10. Bortnikova, S. Gas Anomalies in the Air Above the Sulfide Tailings and Adjacent Soils in Komsomolsk Settlement (Kemerovo Region, Russia) / Bortnikova S., Devyatova A., **Yurkevich N.**, Grakhova S., Ogudov A., Zubtsovskaya N., Edelev A., Volynkin S. // Water, Air, & Soil Pollution. – 2021. – Т. 232. – № 10. – С. 1-11.

Соискателем в соавторстве установлены закономерности распределения серосодержащих газов (сероуглерода и диметилсульфида) в воздухе над сульфидным хвостохранилищем Комсомольского золотоизвлекательного завода и над почвами расположенного рядом поселка. Выявлены аномалии в сравнении с предельно допустимыми концентрациями, а также взаимосвязь с концентрациями металлов в почвах и заболеваемостью местных жителей.

11. Yurkevich, N. Cyanides, Arsenic, and Noble Metals in Abandoned Gold Ore Cyanidation Tailings and Surface Waters in a Permafrost Region (Transbaikal Territory, Russia) / **Yurkevich N.**, Olenchenko V., Bortnikova S., Saeva O., Korneeva T. // Mine Water and the Environment. – 2021. – Т. 40. – № 4. – С. 1-13.

Соискателем в соавторстве определен состав и механизмы трансформации складированных отходов переработки золотоносных руд (пос. Вершино-Дарасунский, Забайкальский край) и формы миграции As, Au, Ag, Be и Tl в дренажных водах и реке Дарасун до и после смешения с техногенными потоками из района добычи. Установлено, что в процессе гиперкриогенеза происходит выщелачивание трех групп химических элементов: типичных рудных металлов и примесных элементов (Pb-Co-Ni-Zn-Cd и Fe-Al-Tl-Be-In), благородных металлов и металлоидов (Au-Ag-Cu-As-Sb-Se) и постпереходных металлов и металлоидов (Bi-Sn-Te). Описаны процессы перераспределения вещества по глубине при помощи микро-электротомографических и геохимических исследований, выявлены зоны накопления металлов и их активного выщелачивания (на границе техногенных отложений и мерзлых пород). Оконтурированы гидрохимические аномалии по широкому спектру химических элементов, включая золото, на расстоянии до 5 км ниже по течению.

12. Bortnikova, S.B. Arsenic and metal quantities in abandoned arsenide tailings in dissolved, soluble, and volatile forms during 20 years of storage / Bortnikova S.B., **Yurkevich N.V.**, Gaskova O.L., Volynkin S.S., Edelev A.V., Grakhova S.P., Kalnaya O.I., Khusainova A.Sh., Gora M.P., Khvashchevskaya A.A., Saeva O.P., Podolynnaya V.A., Kurovskaya V.V. // *Chemical Geology*. – 2021. – Т. 586. – С. 120623.

Соискателем в соавторстве определена подвижность металлов (Cu, Ni и Co) и металлоидов (As и Sb) в складированных отходах гидрометаллургической переработки арсенидных Co–Ni руд. Описаны общие ресурсы металлов и металлоидов, в том числе и в растворенном виде, на основании результатов совместного применения электротомографии с верификацией геохимическим опробованием. Информация по общим объемам мышьяка, поступающего в горизонт подземных вод с дренажными растворами (т/год), должна быть учтена при расчёте экологического ущерба водным ресурсам.

13. Bortnikova, S.B. Element transfer by a vapor-gas stream from sulfide mine tailings: from field and laboratory evidence to thermodynamic modeling / Bortnikova S.B., **Yurkevich N.V.**, Gaskova O.L., Devyatova A.Y., Novikova I.I., Volynkin S.S., Mytsik A.V., Podolinnaya V.A. // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2021. – Т. 28. – № 12. – С. 14927-14942.

Соискателем в соавторстве показана подвижность щелочных (Li, Cs, Na, K), щелочноземельных (Ca, Sr), халькофильных металлов (Hg, Zn, Cu) и металлоидов (As, Sb, Se) в системе «вещество отходов – парогазовая фаза» подвижными элементами, переносимыми в парогазовой фазе. Показано, что одной из форм переноса являются комплексы с органическими лигандами.

14. Olenchenko, V.V. Electrical Resistivity Dynamics Beneath the Weathered Mine Tailings in Response to Ambient Temperature / Olenchenko V.V., Osipova P.S., **Yurkevich N.V.**, Bortnikova S.B. // *Journal of Environmental & Engineering Geophysics*. – 2020. – Т. 25. – № 1. – С. 55-63.

Соискателем в соавторстве показана суточная вариабельность удельных электрических сопротивлений техногенной системы. Исследования проводились методом интервальной микроэлектротомографии с одновременной регистрацией температуры вещества на глубине 0,1 м. Максимальная суточная вариация сопротивлений наблюдается над окисленными техногенными отложениями. Показано, что в результате окислительных превращений твердое вещество отвала становится полидисперсным, что отражается на показателе цементации и увеличении амплитуды суточных колебаний электросопротивлений.

15. Bortnikova, S. Chemical treatment of highly toxic acid mine drainage at a gold mining site in Southwestern Siberia, Russia / Bortnikova S., Gaskova O., **Yurkevich N.**, Saeva O., Abrosimova N. // Minerals. – 2020. – Т. 10. – № 10. – С. 867.

Соискателем в соавторстве предложен подход к очистке кислых дренажных растворов с контролем физико-химических параметров и концентраций элементов для каждого соотношения раствор/реагент с применением $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и NaOH . Показано формирование арсенатного халькофиллита $\text{Cu}_{18}\text{Al}_2(\text{AsO}_4)_4(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{24} \cdot 36\text{H}_2\text{O}$, скородита $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, каатиалаита $\text{FeAs}_3\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Mg}(\text{H}_2\text{AsO}_4)_2$. Общей особенностью процессов нейтрализации является быстрое осаждение гидроксидов железа и гипса, а затем обратное выделение загрязняющих веществ в щелочных условиях.

16. Bortnikova, S. Mechanisms of low-temperature vapor-gas streams formation from sulfide mine waste / Bortnikova S., **Yurkevich N.**, Devyatova A., Saeva O., Shuvaeva O., Makas A., Troshkov M., Abrosimova N., Kirillov M., Korneeva T., Kremleva T., Fefilov N., Shigabaeva G. // Science of the Total Environment. – 2019. – Т. 647. – С. 411-419.

Соискателем в соавторстве показано, что газовые потоки из отвалов отходов представляют собой сложные смеси, состоящие из водяного пара, соединений, содержащих серу и селен (SO_2 , диметилсульфид $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}$, сероуглерод CS_2 , диметилдисульфид $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}_2$, диметилселенид $\text{C}_2\text{H}_6\text{Se}$ и диметилдиселенид $\text{C}_2\text{H}_6\text{Se}_2$), элементарной серы (S6, S7 и S8) и различных химических элементов, включая порообразующие элементы (Ca, Mg, Na, K, Si, Fe, Al и Mn), металлы (Cu, Zn, Pb, Ni и Sn) и металлоиды (As, Te и Sb). Установлено, что механизм миграции элементов из поровых вод в воздух следующий: фаза водяного пара переносит элементы в виде водных ионов, но комплексообразующие вещества (такие как $\text{MeSO}_4(\text{aq})$, $\text{MeCl}(\text{aq})$, $\text{Me}(\text{OH})^+$) остаются в солевом остатке. Значительный вклад в процессы трансформации и переноса элементов вносят биохимические реакции метилирования, которые протекают в присутствии бактерий-продуцентов метильных групп и сопровождаются образованием летучих соединений мышьяка, селена, серы и теллура.

17. Bortnikova, S. Gas transfer of metals during the destruction of efflorescent sulfates from the Belovo plant sulfide slag, Russia / Bortnikova S., Abrosimova N., **Yurkevich N.**, Zvereva V., Devyatova A., Gaskova O., Saeva O., Korneeva T., Shuvaeva O., PalChik N., Chernukhin V., Reutsky A. // Minerals. – 2019. – Т. 9. – № 6. – С. 344-344.

Соискателем в соавторстве установлено, что химические элементы могут захватываться парами воды и мигрировать с парогазовой фазой при десорбции и дегидратации гидросульфатов. Выявлено, что Na-ярозит остается стабильным во всем диапазоне температур, отделение структурной воды мелантерита происходит при 40 °C, а халькантит полностью теряет две молекулы воды при 50 °C. Показано, что газоконденсаты содержали ацетаты и формиаты, которые могли быть продуктами ферментации культивированных бактериальных сообществ (*Micrococcaceae sp.*, *Bacillus sp.* и *Microbacteriaceae sp.*).

18. Yurkevich, N. Sulfur and Nitrogen Gases in the Vapor Streams from Ore Cyanidation Wastes at a Sharply Continental Climate, Western Siberia, Russia / **Yurkevich N.**, Bortnikova S., Abrosimova N., Makas A., Olenchenko V., Yurkevich N., Edelev A., Saeva O., Shevko A. // Water, Air, and Soil Pollution. – 2019. – Т. 230. – № 12. – С. 307.

Соискателем в соавторстве исследован механизм формирования и миграции серо- и азотсодержащих газов в районе Урских отвалов (Кемеровская область) (Урские отвалы, Кемеровская область, Россия) в ходе сезонных наблюдений за объектом. Совместное применение электротомографии и геохимических исследований позволило определить

геоэлектрическую зональность системы, выявить зоны активного “дыхания”, в которых были зафиксированы максимальные колебания концентраций серо-, селен- и азотсодержащих соединений в приземном слое воздуха. Такие зоны отмечены более низкими сопротивлениями по сравнению с другими областями на геоэлектрических профилях. Показано, что существует обратная корреляция между удельным сопротивлением вещества хвостохранилища и их температурой и прямая - между концентрацией газа в воздухе и температурой почвы. Окисление отходов цианирования руды летом и метилирование зимой из-за сезонных колебаний температуры приводят к образованию сероуглерода – газа второго класса опасности.

19. Bortnikova, S. Mechanisms of low-temperature vapor-gas streams formation from sulfide mine waste / Bortnikova S., Yurkevich N., Devyatova A., Saeva O., Shuvaeva O., Makas A., Troshkov M., Abrosimova N., Kirillov M., Korneeva T., Kremleva T. // *Science of the Total Environment*. – 2019. – Т. 647. – С. 411-419.

Соискателем в соавторстве определен потенциал переноса химических элементов низкотемпературными парогазовыми потоками из двух основных источников: 1) нестабильных вторичных минералов, связанных с кристаллогидратами (гипс $\text{CaSO}_4 \times 0,5\text{H}_2\text{O}$, сидеронатрит $\text{Na}_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{OH}) \times 3\text{H}_2\text{O}$, серпьерит $\text{CaCu}_3\text{Zn}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 \times 3\text{H}_2\text{O}$ и копиапит $(\text{Mg}, \text{Zn}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})_4(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \times 20\text{H}_2\text{O}$), образующихся при окислении сульфидных минералов; 2) из поровых вод, которые представляют собой кислые, высокоминерализованные растворы. Показано, что значительный вклад в процессы трансформации и переноса элементов вносят биохимические реакции метилирования, которые протекают в присутствии бактерий-продуцентов метильных групп и сопровождаются образованием летучих соединений мышьяка, селена, серы и теллура.

20. Bortnikova, S. Characterization of a gold extraction plant environment in assessing the hazardous nature of accumulated wastes (Kemerovo region, Russia) / Bortnikova S., Olenchenko V., Gaskova O., Yurkevich N., Abrosimova N., Shevko E., Eder L. // *Applied Geochemistry*. – 2018. – Т. 93. – С. 145-157.

Соискателем в соавторстве показано, что неконтролируемая утечка дренажных вод за пределы дамбы Комсомольского хвостохранилища приводит к загрязнению подземных вод, что было подтверждено данными опробования скважин с выявлением в них мышьяка. Показано, что полученная на основе проведенных исследований информация по общему объему мышьяксодержащего мышьяка должна быть учтена при расчёте экологического ущерба водам реки Воскресенка.

21. Bortnikova, S.B. Assessment of emissions of trace elements and sulfur gases from sulfide tailings / Bortnikova S.B., Yurkevich N.V., Abrosimova N.A., Devyatova A.Y., Edelev A.V., Makas A.L., Troshkov M.L. // *Journal of Geochemical Exploration*. – 2018. – Т. 186. – С. 256-269.

Соискателем в соавторстве показано, что широкий спектр серосодержащих газов и химических элементов может мигрировать с газовой фазой из сульфидных хвостохранилищ. Корреляционный анализ позволил установить, что основным источником микроэлементов в газовых потоках из хвостохранилищ являются нестабильные кристаллогидраты, которые представлены сульфатами и сульфатсодержащими Al , Fe , Mg , Zn и Cu . Установлено, что летучие соединения серы, включая диоксид серы, сероуглерод, диметилдисульфид и диметилтрисульфид, а также элементарную серу, являются продуктами микробиологической деятельности.

22. Korneeva, T.V. Geochemical modeling of heavy metals behavior in technogenic systems. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University / Korneeva T.V., **Yurkevich N.V.**, Saeva O.P. // Geo Assets Engineering. – 2018. – Т. 329. – № 3. – С. 89-101.

Соискателем в соавторстве было сделано количественное описание гидрогеохимических процессов при взаимодействии нейтральных и слабощелочных рудничных вод с рекой, показано формирование природного физико-химического геохимического барьера.

23. Эпов, М.И. Определение состава горнорудных отходов геохимическими и геофизическими методами (на примере хвостохранилища Салаирского горно-обогатительного комбината) / Эпов М.И., **Юркевич Н.В.**, Бортникова С.Б., Карин Ю.Г., Саева О.П. // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58. – № 12. – С. 1944-1954.

Соискателем в соавторстве проведены комплексные исследования хранилища сульфидсодержащих отходов Салаирского горно-обогатительного комбината (СГОК) Дюков Лог. Данные геохимического опробования вещества, дополненные результатами частотного зондирования и электротомографии, позволили выявить зональность среды и установить зависимости геоэлектрических параметров среды от химического состава вещества отходов и минерализации поровых растворов. Предложенный подход позволит в будущем оценить объем накопленных хвостов. В настоящее время определены направления миграции дренажных потоков и доказано проникновение высокоминерализованных техногенных растворов в горизонт грунтовых вод.

24. Korneeva, T.V. Geochemical features of migration flows in the impact zone of mining technogenesis (Mednogorsk) / Korneeva T.V., **Yurkevich N.V.**, Aminov P.G. // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. – 2017. – Т. 328(2). – С. 85-94.

Соискателем в соавторстве выявлены закономерности вторичного минералообразования в дренажных растворах как основного фактора осаждения металлов из растворов. Показана возможность образования различных типов ярозита, которые нестабильны в зоне смешения с рекой Жирикля и способны растворяться.

25. Yurkevich, N.V. Geophysical investigations for evaluation of environmental pollution in a mine tailings area / **Yurkevich N.V.**, Abrosimova N.A., Bortnikova S.B., Karin Y.G., Saeva O.P. // Toxicological & Environmental Chemistry. – 2017. – Т. 99. – № 9-10. – С. 1328-1345.

Соискателем в соавторстве показана геоэлектрическая зональность Комсомольского хвостохранилища. Установлено, что горизонты с низким удельным электрическим сопротивлением соответствуют веществу с поровым пространством, заполненным высокоминерализованными растворами, содержащими Fe, Cu, Zn, Cd, As и Sb в общей концентрации до 50 г/л. Показано формирование «геохимических барьеров» – специфических слоёв, где подвижность элементов снижается в связи с изменениями значений pH, окислительно-восстановительного потенциала и осаждения гидроксида Fe(III). Выявлено, что зоны повышенной электропроводности в окисленных хвостохранилищах соответствуют веществу с высоким потенциалом образования кислоты и сосуществующим кислым поровым раствором. Показано, что в неокисленных хвостохранилищах наблюдается высокая электропроводность минерального скелета. Сопоставление данных электротомографических исследований с верификацией гидрохимическим опробованием позволило выявить утечку дренажа за пределы хранилища.

26. Yurkevich, N.V. Geochemical anomalies in two sulfide-bearing waste disposal areas: Fe, Cu, Zn, Cd, Pb, and As in contaminated waters and snow, Kemerovo and Chelyabinsk regions,

Russia / **Yurkevich N.V.**, Saeva O.P., Karin Y.G. // Toxicological & Environmental Chemistry. – 2015. – Т. 97. – № 1. – С. 1-14.

Соискателем в соавторстве были выявлены зоны геохимических аномалий в водотоках и снеговом покрове в районе складированных сульфидсодержащих отходах горнорудного производства, где концентрации Fe, Cu, Zn, Cd, Pb и As на 2-3 порядка превышают нормативы питьевой воды (для рек) и фоновые уровни (для снега). Использование геофизических методов позволило нам доказать проникновение дренажных растворов в грунтовые воды. Общий экологический ущерб, причиненный загрязнением водных и земельных ресурсов в районе размещения отходов завода по переработке цинка в Белово, составил 156 миллионов долларов на момент 2011 года и может достичь 480 миллионов долларов к 2030 году, если не будут приняты меры по утилизации отходов и рекультивации нарушенных территорий.

27. Саева, О.П. Определение эффективности нейтрализации кислого дренажа геохимическими барьерами на основе природных материалов с помощью метода РФА-СИ / Саева О.П., **Юркевич Н.В.**, Кабанник В.Г., Колмогоров Ю.П. // Известия РАН. Серия физическая. – 2013. – Т. 77. – № 2. – С. 236-239.

Соискателем в соавторстве рассмотрена принципиальная возможность использования природных фосфоритов и глин в качестве барьера по отношению к кислым высокоминерализованным дренажным потокам, вытекающим с мест складирования сульфидсодержащих отходов горнорудного производства, на примере Беловского цинкового завода (г. Белово Кемеровской области).

28. Yurkevich, N.V. As mobility in two mine tailings drainage systems and its removal from solution by natural geochemical barriers / **Yurkevich N.V.**, Saeva O.P., Pal'chik N.A. // Applied geochemistry. – 2012. – Т. 27. – С. 2260-2270.

Соискателем в соавторстве установлена подвижность As при переходе из отходов сульфидсодержащих отходов в раствор, а также способность природных материалов осаждать As на основании результатов лабораторных и натурных экспериментов. Установлено, что основными минеральными формами нахождения As являются арсенопирит (FeAsS) и скородит ($\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Высокие концентрации растворенного As обнаружены в дренажных растворах, и в водотоках в непосредственной близости от хранилищ отходов. Показано, что известняк и природная глина снижает концентрацию As из дренажных растворов.

29. Юркевич, Н.В. Осаждение металлов, мышьяка и сурьмы из дренажного потока на карбонатном барьере по данным анализа РФА-СИ / **Юркевич Н.В.**, Бортникова С.Б., Лапицкий С.А., Фроликова М.А., Колмогоров Ю.П., Саева О.П. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2008. – № 11. – С. 52-56.

Соискателем в соавторстве установлена эффективность применения карбонатного барьера на основе природного известняка для очистки высокоминерализованного дренажного раствора. Показано, что при невысокой скорости фильтрации раствор нейтрализуется до pH 7.1, концентрации меди, цинка и железа снижаются на один-два порядка. Выявлено, что в слое известняка образуется сорбционно-осадительный барьер, концентрирующий железо (2-11%), медь (0.2-0.5%), цинк (0.1-0.2%), кадмий (3-6 г/т). Сурьма, мышьяк и свинец оказываются менее подвижными элементами и осаждаются преимущественно в верхних горизонтах барьера в концентрациях 220, 140 и 120 г/т соответственно.

30. Ожерельева*, Н.В. Исследование взаимодействия воды с высокосульфидными отходами Карабашского медеплавильного комбината (Челябинская область) / **Ожерельева* Н.В.**, Бортникова С.Б. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2006. – № 4. – С. 403-412.

Соискателем в соавторстве с С.Б. Бортниковой предложена методика определения кислотопродуцирующего потенциала и количеств перешедших в раствор Cu, Zn, Fe на основании натурального моделирования. Рассчитано изменение долевого распределения химических форм данных элементов в растворе и индексов насыщения минеральных фаз с ростом соотношения вода/порода (В/П) по ходу эксперимента. Показано, что взаимодействие природной нейтральной воды с веществом отходов приводит к образованию кислоты и переходу в раствор более 50 % Cu и Zn, около 30 % Fe, вплоть до соотношения В/П = 400 : 1. Отмечено, что при низких соотношениях В/П в кислой среде медь и цинк находятся в виде сульфатных нейтральных комплексов и аквакомплексов ионов, а цинк образует еще и анионный сульфатный комплекс. По мере вымывания кислоты доля сульфатных комплексов уменьшается, металлы остаются преимущественно в форме акваионов.

31. Бортникова, С.Б. Тяжелые металлы в районе складированных сульфидных отходов: распределение и пути консервации (Карабаш, Южный Урал) / Бортникова С.Б., Бессонова Е.П., Максимова Н.В., Колмогоров Ю.П., **Ожерельева* Н.В.**, Бессонов Д.Ю. // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2005. – № 9. – С. 25-30.

Соискателем в соавторстве установлено, что высокосульфидные отходы флотационного обогащения медных руд являются постоянным источником токсичных элементов, поступающих в поверхностные воды, почвы, донные осадки вследствие их интенсивного выщелачивания из вещества отходов. Для понимания процессов миграции токсичных элементов (Cu, Zn, Pb, Cd, As, Se, Te и др.) было определено их вертикальное распределение в теле отходов и ореолы в донных осадках р. Сак-Елга, поверхностных и поровых водах. На основе количественной оценки состава хвостохранилищ и уровня концентрации металлов в донных осадках построена геохимическая модель природно-техногенной системы "сульфидное хвостохранилище-река". Проведенные натурные эксперименты показали возможность частичной нейтрализации кислотопродуцирующего потенциала отходов и снижения потока металлов в окружающую среду.

Статьи, отражающие основные научные результаты по теме диссертации, в сборниках

32. Provornaya, I. Economic assessment of a complex of measures for the remediation of the territory from technogenic impact / I. Provornaya, I. Filimonova, **N. Yurkevich**, V. Nemo, M. Mishenin // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Vol. 265. – P. 04017.

Соискателем в соавторстве рассчитана экономическая оценка экологического ущерба водным и земельным ресурсам, определена стоимость проекта рекультивации разрушенных земель на территории, прилегающей к хранилищу отходов Комсомольского золотоизвлекательного комбината. Определено, что общий экологический ущерб оценивается в 458 млн руб., из них 294 и 164 млн руб. – накопленный экологический ущерб от загрязнения вод и почв соответственно. Стоимость проекта рекультивации нарушенных земель оценивается в 716,7 миллиона рублей, доход от реализации накопленного золота -

3916 млн руб.

33. Osipova, P. Resource Evaluation of Valuable and Toxic Tailing Components by Electrotomography Data and Geochemical Sampling / P. Osipova, **N. Yurkevich**, V. Olenchenko // Engineering and Mining Geophysics 2021. – European Association of Geoscientists & Engineers, 2021. – Т. 2021. – №. 1. – С. 1-5.

Соискателем в соавторстве предложен алгоритм комплексного геофизического и геохимического исследования хранилища отходов горнорудного производства. Была построена трехмерная геоэлектрическая модель, оценены объемы техногенных отложений, ресурсы ценных и токсичных компонентов, в том числе в водорастворимых формах. Установлены численные взаимосвязи между удельным электрическим сопротивлением и физико-химическими параметрами среды.

34. Карин, Ю.Г. Подход к обработке данных электротомографии для оценки объемов веществ хвостохранилищ / Ю.Г. Карин, **Н.В. Юркевич** // Интерэкспо Гео-Сибирь. Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология. – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – Т. 2. – №. 2. – С. 62-66.

Соискателем в соавторстве предложен подход к обработке данных электротомографии с учетом априорной информации о составе вещества сульфидсодержащих отходов. Произведена ограниченная инверсия данных электротомографии путем корректировки сопротивлений некоторых слоев геоэлектрической модели, положения их границ или введения локальных неоднородностей с заданным сопротивлением. Показано, что предлагаемый подход позволяет учитывать параметры модели, построенной по данным шурфовки, с помощью предварительной одномерной инверсии данных электротомографии в программе Ip2win, с последующим экспортом полученных предполагаемых границ слоев в программном обеспечении Res2dinv для проведения ограниченной двумерной инверсии.

35. Юркевич, Н.В. Гидрохимические аномалии в районе складирования сульфидных отходов золотодобычи (пос. Вершино-Дарасунский, Забайкальский край) / **Н.В. Юркевич**, С.Б. Бортникова, О.П. Саева, Т.В. Корнеева // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2020. – С. 282-285.

Соискателем в соавторстве определены гидрохимические аномалии в поверхностных водотоках в районе складирования отходов разработки Дарасунского рудного узла (Забайкальский край). Установлено, что высокие содержания пирита, арсенопирита, блёклых руд в отходах обуславливают присутствие в потоках рассеяния благородных металлов и мышьяка. Выявлены аномальные по сравнению с кларковыми и фоновыми концентрации Cu, Zn, Cd, Pb, Au, Ag, Tl, Be. Показано, что элемент первого класса опасности Tl присутствует в техногенных потоках рассеяния в наиболее токсичной, биодоступной свободноионной форме Tl^+ . Определено, что среди форм бериллия свободные катионы преобладают в техногенных кислых сульфатных водах, а после смешения с природными водоемами основной формой является менее токсичная гидроксидная $Be(OH)_{2(aq)}$. Установлено, что подвижность благородных металлов в природных водотоках обеспечивается комплексообразованием с цианидными лигандами в случае с серебром и гидроксокомплексами—для золота.

36. Карин, Ю. Г. Методика оценки объемов веществ хвостохранилищ с применением электротомографии, частотного профилирования и аэрофотосъемки / Ю.Г. Карин,

С.Б. Бортникова, **Н.В. Юркевич** // Интерэкспо Гео-Сибирь. Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – С. 424-431.

Соискателем в соавторстве даны методические рекомендации для построения моделей хвостохранилищ по данным электротомографии, частотного профилирования и ортофотосъемки. Комплексирование трех методов позволяет получить необходимый минимум информации для оценки объемов веществ на исследуемых объектах.

37. Provornaya, I.V. Mine Tailings: Environmental Damage and Resource Potential / I.V. Provornaya, **N.V. Yurkevich**, Y.A. Dzuba // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2020. – Т. 459. – №. 2. – С. 022084.

Соискателем в соавторстве построена имитационная модель, позволяющая экономически оценить ущерб, наносимый окружающей среде отходами горнорудного производства. На примере сульфидсодержащих отходов золотоизвлекательного завода в Кемеровской области был рассчитан общий ущерб водным и земельным ресурсам в 2018 году - 659,7 млн рублей. Сделана прогнозная оценка, согласно которой ущерб окружающей среде в 2030 году составит 950 млн рублей в случае непринятия мер по рекультивации объекта.

38. Karin, Y. Integration of Electrical Prospecting Methods and Geochemical Testing for the Construction of Tailing Dumps Models / Y. Karin, S. Bortnikova, **N. Yurkevich** // International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 2020. – Т. 20. – № 1.2. – С. 607-613.

Соискателем в соавторстве предложена методика расчёта объемов техногенных отложений и ресурсов химических элементов в них на основании результатов комплексных исследований хранилища Белоключевское (Кемеровская область) с использованием методов дистанционного зондирования (аэрофотосъемка), электроразведки (электромагнитное сканирование и электротомографии) и классического геохимического опробования.

39. Юркевич, Н.В. Особенности состава селен-, азот-и серосодержащих соединений в паровой фазе из отвала золоторудного месторождения / **Н.В. Юркевич**, А.Л. Макасы, С.Б. Бортникова, А.Н. Реутский, В.А. Чернухин, Н.А. Абросимова, Д.С. Чешкина // Интерэкспо Гео-Сибирь. Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология. – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – Т. 2. – №. 3. – С. 209-217.

Соискателем в соавторстве определено, что присутствие метил-сульфидов и метилселенидов в приповерхностном слое воздуха над хранилищами отходов горнорудного производства связано с биотическим метилированием сульфидных и селенидных соединений с участием бактерий *Bacillus mycoides* на основании результатов эксперимента по определению состава парогазовой фазы над поверхностью автоклавированной пробы вещества отходов Урского хранилища сульфидсодержащих отходов золотодобычи (Кемеровская область) и с добавкой культивированной бактерии вида *Bacillus mycoides*. Показано, что летучие сложные эфиры азотной кислоты имеют биотическую природу образования и выступают в качестве алкилирующего агента для сульфидов. Эксперимент подтверждает биотическое происхождение бензонитрила, который является производным синильной кислоты в ходе биотического преобразования цианидных и роданидных остатков в отходах.

40. Юркевич, Н.В. Проявление биотических процессов в сульфидсодержащих отвалах

в зимний период по данным геохимических и геофизических исследований / **Н.В. Юркевич**, В.В. Оленченко, С.Б. Бортникова, А.В. Еделев, О.П. Саева // Интерэкспо Гео-Сибирь. Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – Т. 4. – С. 233-240.

Соискателем в соавторстве установлена тесная взаимосвязь температуры грунта, концентрации диметилсульфида (ДМС) в приповерхностном слое воздуха и удельного электрического сопротивления среды. Обнаружена локальная аномалия пониженного электросопротивления, которой соответствует грунт с положительной температурой. Установлено, что в приповерхностном слое над этой областью повышена концентрация ДМС, что мы связываем с метилированием сульфидсодержащих соединений автотрофными микроорганизмами.

41. Юркевич, Н.В. Оценка современного состояния хвостохранилища золоторудного производства: ценные и токсичные компоненты / **Н.В. Юркевич**, С.Б. Бортникова, В.В. Оленченко, И.В. Проворная, О.П. Саева // Интерэкспо Гео-Сибирь. Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – № 2(4). – С. 113-117.

Соискателем в соавторстве предложен комплексный методологический подход с использованием электротомографии, геохимических и эконометрических методов для оценки объема техногенных отложений в хранилище отходов Комсомольского золотоизвлекательного завода (Кемеровская область). Установлено, что расчётный объем хвостов (958 м³) сопоставим с таковым по архивным данным (1 млн. м³). Сделана оценка ресурсов ценных и токсичных компонентов (Ag, Zn, Cd, Pb, As, Hg) и рассчитан экологический ущерб от загрязнения водных ресурсов.

42. Bortnikova, S. The combination of geoelectrical measurements and hydro-geochemical studies for the evaluation of groundwater pollution in mining tailings areas / S. Bortnikova, **N. Yurkevich**, E. Bessonova, Y. Karin, O. Saeva // Threats to the Quality of Groundwater Resources: Prevention and Control, 2016. – С. 239-256.

Соискателем в соавторстве исследована геоэлектрическая зональность хвостохранилища Салаирского ГОКа Талмовские Пески (Кемеровская область) с применением электромагнитного сканирования, электротомографии и с верификацией опробованием скважин. Показано, что участки с низким удельным электрическим сопротивлением (1-20 Ом·м) соответствуют поровому пространству, заполненному высокоминерализованными растворами. Оконтурирована зона фильтрации дренажных растворов в теле хранилища, установлено их просачивание в горизонт подземных вод. Загрязнение подтверждено химическим анализом, согласно которому концентрации Zn, Pb и Cd в пробах воды из скважин на два-три порядка превышают предельно допустимую концентрацию (ПДК). Установлены корреляционные и количественные взаимосвязи между УЭС и общим количеством металлов, присутствующих в отходах и водных вытяжках. Предложенный подход позволил оценить количество металлов, накопленных в хранилище, спрогнозировать изменения концентраций Mn, Al, Fe, Cu, Zn, Cd и Pb до глубины 30 м.

Диссертационная работа «Техногенные экосистемы: динамика развития и ресурсный потенциал (на примере хранилищ отходов горнорудного производства в

Кемеровской области и Забайкальском крае)» Юркевич Наталии Викторовны **рекомендуется к защите** на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности **1.6.4** – «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Заключение подготовили специалисты-эксперты: д.г.-м.н. С.Б. Бортникова, д.г.-м.н. О.Е. Лепокурова, д.э.н. И.В. Филимонова

Заключение принято на открытом научном семинаре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук. Присутствовало на заседании 36 чел. Результаты голосования: «за» – 39 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 1 от 13 мая 2024 г.

Заключение оформила:
г.н.с. ИНГГ СО РАН,
д.г.-м.н., проф.

С.Б. Бортникова