



ПОЛИМЕТАЛЛ

Производственные и методические аспекты геологоразведочных работ

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

ДЕКАБРЬ 2022

#12

Тема номера:

Время перемен





Морозов Михаил Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, главный геохимик отдела поисков и разведки дирекции геологоразведочных проектов, АО «Полиметалл УК» // MorozovMV@polymetal.ru



Новая «Инструкция по геохимическим поискам», «Полиметалл», 2022 — причины создания и цели применения на практике

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены причины и цели разработки новой Инструкции по проведению геохимических поисков месторождений твёрдых полезных ископаемых. Описана концепция Инструкции, сделанные в её рамках нововведения в области терминологии и техники опробования, принципов обеспечения, контроля и повышения качества данных. Охарактеризованы вошедшие в инструкцию оригинальные шаблоны для прикладных геохимических расчётов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

геохимические поиски месторождений полезных ископаемых, инструкция, технология опробования, интерпретация результатов, контроль качества, обработка данных

При возобладании разума наступит эра ноосферы и должны будут проявляться иные геохимические зависимости.

Л. Н. Овчинников. Прикладная геохимия

Положение дел на момент разработки Инструкции

27 сентября 2022 г. в соответствии с приказом № ПМУК/02-165 вступил в действие документ, регламентирующий проведение площадных геохимических поисковых работ в рамках всех ГРП, проводимых предприятиями «Полиметалла», включая работы подрядных организаций и компаний-юниоров. В силу того, что он одновременно отразил и вариативность поисковых геохимических методик, и широкий спектр сопряжённых с ними работ (подготовительные мероприятия, полевые и лабораторные аналитические исследования, обеспечение и контроль качества, создание и ведение баз данных, интерпретация результатов и подготовка отчётов), его было решено назвать Инструкцией, а не «стандартом» или «регламентом». Это решение стало символическим, т.к. новая Инструкция призвана выполнить в современных условиях то же предназначение, что и вышедшая в 1951 г. «Временная инструкция по металлометрической съёмке», и её «постоянный» вариант 1955 г., заменённый в свою очередь «Инструкцией по геохимическим методам поисков рудных месторождений», прошедшей редакцию 1965 и 1983 гг. Введение Компанией в действие Инструкции по площадным геохимическим поисковым работам произошло в год 40-летия приказа Министерства геологии СССР, утвердившего последнюю официальную инструкцию по поисковой геохимии, действующую в России по сей день.

Долгая жизнь «Инструкции-83» во многом объясняется её высоким качеством, хотя уже на рубеже 1980-90-х гг. специалистам были хорошо видны направления, которые оказались в ней недостаточно раскрыты. Компенсация этих упущений производилась разными авторами — В.В.Аристовым в области практических рекомендаций по отбору литохимических проб (1984), М.Е.Городинским (1984) в части опробования потоков рассеяния, Е.М.Квятковским (1988) для работ на территориях северо-запада РСФСР. Для устранения разночтений в терминологии был принят ГОСТ 28492-90 «Геохимические методы поисков твердых полезных ископаемых. Термины и определения», а новые методические обобщения по потокам и вторичным орео-

лам рассеяния были сделаны коллективом ИМГРЭ в 1992 и 1993 гг. соответственно.

Научно-техническая революция 1990-х гг. существенно затронула геохимию: появились принципиально новые высокотехнологичные методы анализа геохимических проб (в первую очередь, спектрометрия ICP) и компьютерной обработки данных. Кроме того, произошёл настоящий расцвет технологий геохимических поисков по наложенным ореолам (Mann, 2005; Марченко, 2022), ранее представленных лишь прописью Л. В. Антроповой, Н. И. Несвижской и Ю. Е. Саета (Приложение 27 к «Инструкции...» 1983 г.). Уже к середине 2000-х гг. стало очевидно, что внедрение новых технологий должно быть включено в соответствующие методические рекомендации по поисковой геохимии.

К сожалению, по объективным причинам постсоветские методические руководства по геохимическим поискам создавались разными группами специалистов и, по большей части, несогласованно. ВСЕГЕИ выпустил «Временные методические рекомендации...» (2005), в которых представил концепцию поисковых сетей с квадратной ячейкой и правила применения технологии МАСФ (метод анализа сверхтонкой фракции), разработанной тем же коллективом. В том же году разработчики т. н. «геоэлектрохимических» методов поисков по вторичным наложенным ореолам (в прошлом — члены коллектива предприятия «ВИРГ-Руд-геофизика») подготовили соответствующие методические рекомендации. В Республике Казахстан, также в 2005 г., Комитет геологии и недропользования утвердил руководство «Литохимические методы поисков рудных месторождений».

В тот же период времени усилиями зарубежных коммерческих компаний получили широкое распространение новаторские методы химического анализа (в первую очередь, ICP-OES/MS), использующие разнообразные процедуры химического разложения вещества геохимических проб. На рынок в 2000-2020 гг. вышли новые методики опробования наложенных ореолов, как зарубежные (MMI, SGH, Ionic Leach и др.), так и отечественные (ИСМ, КСО, МЕФФА). Некоторые из них были подкреплены соответствующими методическими указаниями, а для иных

имелись лишь описания в формате научных публикаций или рекламных докладов. В большинстве случаев данные методики требовали более глубокой методической проработки для применения в тех или иных поисковых условиях. Данную задачу, в основном, взяли на себя коммерческие компании, занятые добычей полезных ископаемых, в силу чего результаты ОМР лишь спорадически и в сокращённом виде оказывались опубликованными в научной печати (а иногда — лишь в рекламных презентациях и проспектах). К 2020 г. необходимость нового обобщения опыта последних полутора-двух десятилетий стало очевидной насущной необходимостью для всех участников процесса геологоразведочных работ на территории бывшего СССР.

Приобретение Инструкцией своего облика: принцип, цели, задачи, решения

Итоговая структура и содержание Инструкции продиктованы текущим положением дел в поисковой геохимии. В их основе лежит принцип «всё необходимое должно быть в едином комплексе». Отсылать исполнителя Инструкции ко внешним источникам справочной или уточняющей информации означает в современных условиях — ставить его перед необходимостью делать выбор из взаимно противоречащих и часто неполных и даже ошибочных рекомендаций и наборов данных. Поступив так, авторы Инструкции сняли бы с себя ответственность за итоговый результат, при этом не гарантируя наличия у исполнителя достаточной квалификации и опыта, необходимых для успешного решения поисковой задачи.

В то же время, в отличие от инструкций советского периода, новый документ не нуждается в наличии теоретических («учебных») глав. Теоретические положения геохимических поисков МПИ с 1980-х гг. стали широко доступны специалистам благодаря многочисленным учебникам и пособиям. С другой стороны, рост числа теоретических и методических материалов привёл к другим проблемам: неполноте общепринятой стандартной геохимической терминологии, наличию противоречий и несогласованности между понятиями, в особенности — отечественными и зарубежными. Поэтому в созданной Инструкции описание всех стадий работ подано так, чтобы исполнитель не испытывал необходимости обращаться к посторонним источникам.

В Инструкции приведён расширенный список литературы, содержащей конкретные разъяснения принципов геохимических поисков и подходящие ситуативные решения. Однако, в список литературы включены не «учебники» как таковые, а лишь методические источники, которые непосредственно дополняют конкретные разделы документа. По этой причине в разделах текста и приложениях даны прямые ссылки на соответствующую методическую и справочную литературу.

Впервые в отечественной практике Инструкция сводит, где это необходимо, в одну связную картину отечественные и западные подходы, а также корректно разъясняет термины, многие из которых в настоящее время объясняются расплывчато или противоречиво. Этой цели служат список сокращений и словарь терминов.

Почти половину итогового документа составляют приложения, но они как раз и нужны для того, чтобы дать в руки читателю корректную и исчерпывающую информацию, необходимую для математических расчётов и прочих методических действий.

Какие задачи призвана решить новая Инструкция?

Во-первых, ввести в современный контекст принципы химического анализа поисковых проб: дать рекомендации по выбору актуальных сегодня методик (пробирный анализ на благородные металлы, ICP-OES/MS и проч.), использо-

ванию портативных анализаторов (в первую очередь, для активно применяемого ныне ПРФА).

Во-вторых, ликвидировать застарелые «мифы» и «недоделки» прошлых инструкций и указаний. К первым относится, например, представление о масштабе геохимических поисков: в прошлых инструкциях не давалось его определений, а лишь приводились типичные параметры сетей. В итоге, распространилась точка зрения, что масштаб работ есть количество точек опробования на единицу площади. В то время как под ним изначально понимается детальность геохимических поисков и съёмки, при которой расстояние между геохимическими профилями или маршрутами на местности составляет один сантиметр в масштабе отчётной геохимической карты (ГОСТ 28492-90).

Примером «неделок» прошлых геохимических инструкций является отсутствие ясной формулировки понятия «удельная продуктивность», что проявилось в «Инструкции-83» по сравнению с действовавшей ранее «Инструкцией-65». В итоге произошло смешение понятий «площадная продуктивность» («Р», ед. изм. м²×%), «удельная продуктивность» («q», т/м) и «прогнозные ресурсы» («Q», т), что создало определённую путаницу в геохимической отчётности.

В-третьих, гармонизовать отечественные подходы с имеющимся международным опытом: ввести в оборот ранее не освещённые в отечественной методической литературе зарубежные методики поисков по наложенным ореолам (ММИ и аналоги), привести принципы контроля качества в соответствие с современным метрологическим понятием аппаратом и наиболее эффективными, получившими широкое распространение международными подходами в ГРП и прикладной геохимии.

В-четвёртых, в форме приложений к Инструкции провести систематизацию необходимой справочной информации по гранулометрической классификации поверхностных рыхлых отложений, кларкам химических элементов, иерархии потоков рассеяния и многим другим вопросам, освещение которых в сегодняшней научной и технической литературе носит противоречивый и неполный характер.

В-пятых, создать действующие шаблоны численных расчётов и диаграмм контроля качества, геохимических показателей, поисковых сетей, а также шаблоны баз данных, которые будут приведены в соответствие с принципами организации данных в ставшей стандартом Компании де-факто СУБД «Геобанк». Готовые к использованию шаблоны снизят как вероятность ошибок и расхождений при вычислениях, так и временные затраты при выполнении требований Инструкции.

В-шестых, прямо указать на слабую методическую проработку таких общих понятий поисковой и разведочной геологии, как «ресурсы» и «потенциал». Последнее связано с известным расхождением принципов оценки количества полезного ископаемого, сложившихся в отечественной и зарубежной горной геологии. Подходы, изложенные в зарубежных кодексах ГРП (JORC, National Instrument 43-101 и аналогичных), предполагают характеристику объекта разведки (exploration target) в терминах его «геологоразведочного потенциала» («exploration potential»), если объём полученной в рамках ГРП информации недостаточен для оценки ресурсов (в понятии термина «Mineral Resource»). Данная терминология не полностью совместима с принятой в отечественных руководствах, что привело к необходимости использовать в Инструкции понятие «геохимический потенциал» вместо термина «прогнозные ресурсы». Данное решение, с одной стороны, напрямую продиктовано повседневной практикой международной отчётности горнорудных компаний, а с другой стороны лишает Инструкцию полной совместимости с ранее разработанными отечественными руководствами.

Новаторские методические решения, впервые вводимые Инструкцией

Обратим внимание на научные и методические решения, которые впервые вводятся в оборот Инструкцией. Безусловно, в ситуации «устойчивого развития» науки и технологий, методические указания, практические рекомендации и инструкции не являются документами, в рамках которых такого рода решения должны вводиться впервые, т.е. без предварительного широкого обсуждения в среде профильных специалистов. Однако, длящийся чрезмерное время застой в отечественной методической литературе по поисковому геохимическим методам, продиктовал необходимость такого рода нововведений непосредственно в Инструкции.

При подготовке документа была проведена систематизация научной терминологии и обновлены терминологические и методические связи с современными актуальными разделами аналитической химии и кодексами ГРП. Были введены либо конкретизированы и пояснены следующие понятия:

Вторичная геохимическая среда — вещественная среда, физически отделённая от вмещающих орудование коренных пород (т.е. от среды первичной, в которой сформировались первичный ореол и рудные концентрации), например, поверхностные рыхлые отложения (включая рыхлый материал кор выветривания), тилл, современные донные отложения временных и постоянных водотоков и водоёмов, почвы, грунтовые (трещинные, почвенные) и поверхностные воды, воздух (почвенный и атмосферный), вещество биогенного происхождения (ткани растений и проч.), снег.

Дрейф значений измеряемой величины — непрерывное или ступенчатое изменение измеренных значений во времени, не связанное с изменением самой измеряемой величины, а вызванное посторонними причинами (систематическими погрешностями), например, изменением метрологических свойств средств измерений (инструментальный дрейф) или условий измерений — технологических параметров или условий окружающей среды (лабораторный дрейф).

Неопределённое содержание элемента — содержание, меньшее нижнего предела обнаружения (см.).

Предел обнаружения (аналита, т.е. химического элемента и т. п.) — нижнее (НПО) или верхнее (ВПО) граничное содержание, устанавливаемое в рамках конкретной аналитической методики (аналог устаревшего понятия «порог чувствительности»). Понятие «предел обнаружения» может по-разному трактоваться и не конкретизироваться исполнителями аналитических работ. В терминологии ГОСТ Р 52361-2018 НПО может быть сопоставлен пределу обнаружения, пределу определения или нижней границе диапазона определяемого содержания, а ВПО — верхней границе диапазона определяемого содержания. Таким образом, содержание, меньшее НПО, является неопределённым. Метрологическая (т.е. вероятностно-статистическая) природа нижнего предела обнаружения состоит в том, что за НПО принимается содержание, которое равно абсолютной неопределённости его определения (т.е. в терминологии $S \pm \Delta C$, например, 5 ± 5). Относительная неопределённость при этом равна 100% ($\delta C = \Delta C / C = 1$), что означает, что из выборки проб, содержания в которых равны НПО, формально 50% не содержат определяемого элемента, а 50% — содержат, т.е. лишь в половине данных проб элемент может считаться достоверно обнаруженным.

Численно измеренное содержание — содержание, находящееся в пределах интервала значений от НПО до ВПО (включительно). См. **предел обнаружения**.

Эталонная проба — образец вещества с известными характеристиками содержаний химических элементов, который используется для контроля качества аналитических работ (стандартная проба, холостая проба, бланк).

Специально для Инструкции были актуализированы данные по кларкам химических элементов в горных породах и почвах: критически проверены текущие рекомендации ИМГРЭ («Требования...», 2021), исправлены несоответствия между ними и данными для почв по (Bowen, 1979). Для отсутствующих кларков почв (In, Pd, Pt, Re, Te) использованы рабочие материалы Компании 2020-2022 гг.

Геохимический потенциал — вероятное количество химического элемента в объеме горных пород на заданную глубину, которое могут содержать рудные образования. Г. п. выражается в единицах массы (т или кг). В советской и российской методической литературе аналогичное понятие обозначается как «прогнозные ресурсы металла». Термин «ресурсы» в таком понимании противоречит определению ресурсов твердых полезных ископаемых, принятым в зарубежных кодексах отчетности о результатах ГРП (JORC, NI-43-101 и проч.), поэтому в документах Компании не используется.

Ожидаемая продуктивность первичного геохимического ореола — продуктивность ПОР, рассчитанная из значения продуктивности вторичного наложенного ореола рассеяния из предположения о подобии обеих продуктивностей.

Относительная продуктивность — интегральное превышение геохимического фона, выраженное в коэффициенте концентрации.

Отрицательно-аномальное значение — ближайшее к фоновому содержание, аномально отличающееся от него в меньшую сторону; используется для выделения отрицательных геохимических аномалий.

Удельная продуктивность геохимического ореола — количество химического элемента в заданном площадном сечении единичной мощности геохимического ореола, выраженное в единицах массы на один метр углубки.

Впервые включены в отечественный инструктивный документ следующие специальные требования по применению полевых методик:

- ▶ подробная инструкция по методике «Подвижные ионы металла» (ММИ) и интерпретации её результатов, учитывающая не только рекомендации правообладателя (компания SGS), но и выводы зарубежных опытно-методических работ последних лет;

- ▶ рекомендации по работе на заторфованных площадях, основанные на методике Геологической службы провинции Онтарио, Канада (Hamilton, 2007);

- ▶ методические указания по опробованию вторичных наложенных геохимических ореолов распространёнными на сегодняшний день методами, дополненные рекомендациями по составлению графика осадков;

- ▶ указания по применению газортушной съёмки по надпочвенному воздуху.

Отдельно отметим вводящуюся Инструкцией оригинальную mnemonicскую однобуквенную систему полевого обозначения цветового класса почв и донных отложений (W — «white», белёсый, светло-серый, L — «lead», т.е. «свинцовый», серый, желтовато- или буровато-серый, Y — «yellow», жёлтый, R — «red», жёлто-бурый, красноватый, оранжевый, рыжий, ржавый, B — «brown», чёрно-бурый, тёмно-коричневый, N — «night», т.е. «ночной», тёмно-серый, чёрный, G — «green», зелёный, серо-зелёный, C — «cyan», голубой, серо-голубой).

Важным моментом является и конкретизация понятия «порядок потока рассеяния», определение которого в зависимости от поставленной задачи (гидрологической, геологической и т. п.) происходит принципиально разными способами. В поисковой геохимии порядок потока определяется числом Философова-Стралера (англ. Strahler number), определение которого может быть автоматизировано, например, посредством ПО ArcGIS.

Также впервые в отечественной инструктивной геохимической литературе подробно рассмотрены особенности, возможности и сфера применимости современных аналитических методов: ICP-OES/MS спектрометрии (включая обзор альтернативных химических способов вскрытия проб), портативного рентгенофлуоресцентного анализа, технологий селективного анализа вещества.

Особое место в инструкции занимает описание принципов обеспечения, контроля и повышения качества геохимических данных.

Значительным вкладом Инструкции является обновление принципов обеспечения, контроля и повышения качества геохимических данных. Методические издания докомпьютерной эпохи рассматривали геохимические данные как полуколичественные и, соответственно, не требующие глубоко построенных методик обеспечения качества. Также и отсутствие способов быстрой массовой обработки данных ограничивало возможности в данном направлении.

В новой парадигме вопрос качества геохимических данных рассматривается как результат трёхстадийного процесса: обеспечения качества (quality assurance), контроля качества (quality control) и повышения качества (quality improvement), т.е. на принципах QA/QC/QI, а не традиционного QA/QC. Принципы QA/QC/QI системно поданы во всём их разнообразии, какое имеет место при геохимических поисках, их терминология гармонизована с международной. Некоторые требования по качеству конкретизированы в рамках Инструкции впервые. К ним относятся:

- ▶ практические методики анализа дрейфа измеренных содержаний и рандомизации проб перед анализом, направленной на снятие корреляций между рудными аномалиями и лабораторным браком (указания Инструкции сделаны с высокой детальностью в т. ч. с целью популяризации данного подхода);
- ▶ правила использования эталонных проб (стандартные образцы, холостые пробы, бланки) и соответствующие критерии приемлемых правильности и сходимости данных, по допустимому количеству аномальных значений;
- ▶ расширенные принципы аналитического и графического контроля сходимости (использование взвешенных диаграмм рассеяния и коэффициентов корреляции).

Правила и шаблоны расчётов параметров качества и численных характеристик геохимического поля

В Инструкции дано лаконичное и логически последовательное изложение принципов расчёта главных параметров геохимического поля, важных поисковых численных показателей, характеристик геохимических аномалий. Уточнены параметры, применяемые при определении геохимического потенциала. Раздел дополнен подробными справочными материалами, приведёнными в приложениях.

Для предупреждения ошибок при вычислениях и графических построениях впервые созданы подробные и снабжённые комментариями электронные шаблоны в форматах Microsoft Excel, Golden Software Grapher и свободно распространяемом ПО SciDAVis, даны рекомендации по способам автоматизации расчётов в Golden Software Surfer и ESRI ArcGIS. Созданные шаблоны позволяют рассчитывать сети опробования, задавать структуру баз геохимических данных, рассчитывать статистические параметры распределения содержаний элементов, осуществлять численные и графические процедуры контроля качества (проверки и коррекции дрейфа содержаний, проверка сходимости данных, контроль точности измерений с помощью стандартных образцов состава).

Итоговые цели Инструкции-2022 и будущее геохимических поисковых работ

Многие разделы, приложения и, в конечном итоге, сама структура Инструкции возникли на основе пожеланий и указаний специалистов УК и филиалов. Созданная коллективом Компании Инструкция преследует основную цель: организовать проведение поисковых геохимических работ таким образом, чтобы обеспечить по их итогам получение необходимой и достаточной информации, на основании которой может быть сделан уверенный вывод о продолжении либо завершении ГРП (см. цветную вставку). Работы должны при этом проводиться так, чтобы в распоряжение геолога поступила вся необходимая информация по содержанию элементов и значениям других геохимических показателей, необходимых для принятия решения. Это подразумевает корректный выбор геохимических сигналов, имеющих в заданных геолого-географических условиях поисковое значение, оптимальной среды (или сред) опробования, методик опробования, пробоподготовки и последующих аналитических работ. Также целью Инструкции является обеспечение корректной обработки и обобщения результатов полевых наблюдений совместно с результатами измерений, включая меры по обеспечению и, по возможности, повышению качества данных, что в итоге гарантирует адекватное построение геохимической карты и сделанных по ней выводов геологической реальности.

По сути, Инструкция закрывает информационную пустоту, следствие многолетнего отсутствия методических рекомендаций по геохимическим работам поискового масштаба. Надо отметить, что в этом году ВСЕГЕИ выпускает свои «Практические рекомендации» для геохимических работ регионального уровня. Вместе две методические работы — регионального и поискового масштабов — могут закрыть методическую проблематику по данному направлению. Именно поэтому Инструкция вместе с электронными приложениями нуждается в публикации и доведении до широкой геологической общественности. Публикация Инструкции продемонстрирует научно-технический приоритет Компании, покажет, что именно геологи-производители, а не менеджеры сервисных компаний, обладают соответствующими компетенциями и могут определять технологию применения каждого геохимического метода.

Безусловно, ГРП, как и любой процесс, существует лишь в непрерывном развитии. Поэтому Инструкция не просто фиксирует текущий срез знаний и представлений, но и формирует понимание путей дальнейшего развития методологии геохимических поисков. Её разделы, посвящённые передовым методикам опробования и аналитики (например, о месте в структуре ГРП геохимических методов поиска по вторичным наложенным ореолам рассеяния), имеют цель побудить геологов к формированию завершённой картины применимости многочисленных новаторских методик, увидевших свет за последние четверть века. Подробное описание эффективности данных методик в разнообразных поисковых условиях — дело будущих инструкций.

По счастью, опасения Л.Н.Овчинникова о смене существующих геохимических законов новыми, высказанные им в фундаментальной работе «Прикладная геохимия», не оправдались, и мы можем в полной мере с успехом применять массу накопленных знаний о существующих геохимических закономерностях в интересах поиска новых месторождений полезных ископаемых. Поэтому есть все основания рассчитывать, что «сумма технологий», каковой является только что утверждённая Инструкция по площадным геохимическим работам, с отдачей будет применяться участниками поисковых работ в целях увеличения материально-сырьевой базы Компании.

Последовательность поисковых геохимических работ

I. Подготовка работ

1. Постановка общей цели поисков: территория работ, искомое полезное ископаемое (либо комплекс), ожидаемые геолого-генетический и геолого-промышленный типы.

2. Сбор и анализ материалов предшественников, уточнение ожидаемых характеристик геохимического поля в разных поисковых средах (первичной, вторичных).

3. Формулировка целеполагания на поисковый этап и выбор методического хода работ (параметры искомого оруденения и его геохимических признаков, способ опробования — среда, методика, сеть, виды аналитических измерений). Создание паспорта проекта и его защита.

4. Планирование программы контроля и обеспечения качества: выбор способов и объёмов контроля, планирование методической логистики (размеры партий проб и способы их подготовки).

II. Проведение работ

5. Полевой этап. Отбор проб, полевые аналитические измерения. Создание БД полевых геохимических наблюдений.

6. Лабораторный этап. Получение результатов аналитических работ и создание БД геохимического опробования.

7. Первичная обработка и контроль качества полученных данных.

8. Интерпретация данных. Расчёты геохимических показателей и построение геохимических и прогнозных карт. Оценка территории и выявленных на ней геохимических объектов. Создание итогового отчёта и, при необходимости, формулирование целеполагания на следующий этап работ.

Gratia

Высокое качество материалов Инструкции было бы недостижимо без совместной и интенсивной работы над ней коллектива мотивированных специалистов Компании. В кратком тексте невозможно упомянуть каждого, кто внёс посильный вклад в создание документа. Однако, заслуживает перечисления персональный список, отвечающий наиболее существенным эпизодам авторского участия: В.В.Мелкомукон и Н.А.Баталова (структура баз данных и взаимодействие с СУБД «Геобанк»), Я.П.Суходольский (применение портативных рентгенофлуоресцентных анализаторов), И.С.Долгушина (тилловое опробование), Д.В.Левочская и М.Ю.Малых (широкий спектр вопросов), А.В.Никитин (документирование опробования), А.А.Смирнов (пробоподготовка), А.И.Осецкий (редакторская правка и указания по структурированию документа), В.Н.Егоров, В.А.Кискин и С.И.Трушин (рекомендации по структуре документа и его обсуждение на этапах разработки). Огромный вклад в редакторскую и корректорскую правку текста внесли сотрудники ОКЖД О.Н.Рвачёва и С.А.Лукина.

Особую благодарность мы хотели бы выразить одному из ведущих представителей отечественной школы прикладной геохимии доктору геол.-мин. наук, профессору А.Г.Марченко (ООО «Теллур Северо-Восток», Санкт-Петербург) — за научные консультации и принципиальные дискуссии, неоднократную проверку и редакторскую правку текста, подготовку внешней рецензии на Инструкцию как методическое пособие.

Список литературы

1. **Аристов В.В.** Методика геохимических поисков твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1984. 200 с.
2. Временная инструкция по металлометрической съемке / Гл. геофиз. упр. М-ва геологии. М.: Госгеолгиздат, 1951. 100 с.
3. Временные методические указания по проведению геохимических поисков на закрытых и полужакрытых территориях. СПб.: ФГУП ВСЕГЕИ, 2005. 98 с.
4. **Городинский М.Е.** Методические рекомендации по проведению литохимическим поискам по потокам рассеяния в условиях Северо-Востока СССР / Магадан: Северо-Восточное производственное геологическое объединение, 1984. 122 с.
5. ГОСТ 28492-90. Межгосударственный стандарт. Геохимические методы поисков твердых полезных ископаемых. Термины и определения. Дата введения 01.07.1991. Переиздание: ноябрь 2005 г.
6. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений: [Утв. 29/IX 1964 г.]. М.: Недра, 1965. 228 с.
7. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений: [Утв. 22/VI 1982 г.]. М.: Недра, 1983. 191 с.
8. Инструкция по металлометрической съемке: [Утв. 9/VII 1956 г.] / М-во геологии и охраны недр СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1957. 99 с.
9. Литохимические методы поисков рудных месторождений. Методическое руководство / Р.Р.Ивлев, А.Б.Халтурин, С.С.Солнцев и др. Кокшетау: Комитет геологии и недропользования, МЭМР РК, 2005. 190 с.
10. Марченко А.Г. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений 1983 года: гарант качества поисковых работ или тормоз развития? // Геологический вестник АО «Полиметалл УК». СПб., 2022. № 11. С. 53-55.
11. Методические рекомендации по литохимическим методам поисков рудных месторождений по потокам рассеяния. М.: ИМГРЭ, 1992. 165 с.
12. Методические рекомендации по литохимическим методам поисков рудных месторождений по вторичным ореолам рассеяния. М.: ИМГРЭ, 1993. 192 с.
13. Методические указания по геохимическим методам поиска рудных месторождений на территории северо-запада РСФСР / Ред. Е.М.Квятковский и В.В.Проскураков. Л.: Севзапгеология, 1988. 118 с.
14. Технология работ и интерпретации данных геоэлектростатических методов на рудных объектах (методические рекомендации) / С.Г.Алексеев, С.А.Вешев, Н.А.Ворошилов, О.Ф.Путиков, А.П.Савицкий, М.Б.Штокаленко. СПб.: 2005. 60 с.
15. Требования к содержанию и оформлению материалов геохимических основ масштаба 1:200 000 «Госгеолкарты — 200/2» / В.А.Кирипко, Л.А.Криночкин, Ю.А.Шаройко, Н.Г.Гуляева, Г.С.Гусев и др. М.: ИМГРЭ, 2021. 98 с.
16. **Bowen, H.J.M.** Environmental chemistry of the elements. London: Academic Press. 1979. XV+333 p.
17. **Hamilton, S.M.** A prospector's guide to the use of selective leach and other deep penetrating geochemical techniques in mineral exploration. Ontario Geological Survey Open File Report 6209. 2007. 39 p.
18. **Mann, A.W., Birrell, R.D., Fedikow, M.A.F., de Souza, H.A.F.** Vertical ionic migration: mechanisms, soil anomalies, and sampling depth for mineral exploration // Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, 2005. V. 5 P. 201-210.