Известия НАН РК, сер. геол. и техн. наук, 4, 2013, С.90-98

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ И БАЗОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ НЕДР КАЗАХСТАНА НА РУДНЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

В.Л.Лось *(Международная академия информатизации, г.Алматы, Казахстан)*
М.А.Сайдуакасов *(Комитет геологии и недропользования МИНТ РК, г. Астана, Казахстан)*

Общее состояние и тенденции развития минерально-сырьевого и горно-металлургического комплексов рационально рассмотреть в системе трех координат:

- конкурентоспособность минерального сырья;
- технологический уровень и глубина переработки минерального сырья;
- законодательно-правовое обеспечение использования минерального сырья.

Конкурентоспособность минерального сырья имеет две составляющие: *а*-природные факторы, *б*- качество и полнота изучения и оценки недр. Качественное и полное изучение и оценка недр достаточно дорогостоящий и длительный процесс. Вкладывая средства в изучение и оценку геологических недр Казахстана, мы должны отчетливо понимать, что такой вклад – это своего рода долговременный страховой полис нашей страны, обеспечивающий при правильном использовании ее устойчивое развитие, в том числе развитие высокотехнологических производств и создание продуктивных рабочих мест.

Учитывая значительную рисковость работ по оценке недр и долговременность отдачи от вложенных средств, геологоразведка и ее научно-технологическое обеспечение могут и должны опираться на стабильные долгоживущие институты, ориентированные на фундаментальные ценности и не требующие немедленного превращения надежд и ожиданий в сиюминутную прибыль. Такими институтами могут быть уполномоченные государственные учреждения (если они постоянно не реорганизуются), фонды развития, крупные компании.

Формируя стратегию и тактику полного и качественного изучения и оценки недр, нужно исходить не из конъюнктурных интересов, привычных схем, сложившихся стереотипов. Необходимо опираться на объективный анализ реального состояния и тенденций геологоразведки, а также принципы инновационного развития (в частности: не совершенствовать старое, а создавать и использовать новое). Иначе можно до бесконечности украшать выработавшие свой ресурс прогнозно-поисковые технологии различными «бантиками», вкладывая в них большие деньги, но результат получать близкий к нулевому.

. В последние десятилетия отчетливо обозначилась тенденция истощения минеральных ресурсов Казахстана (особенно цветных и благородных металлов). Восполнение и расширение базы минерально-сырьевых ресурсов производится с помощью двух, частично взаимосвязанных геологоразведочных операций: доизучения недостаточно оценённых рудных объектов и выявления новых месторождений. Первая операция, несмотря на большое разнообразие информационно-геологических ситуаций, сводится к уточнению геометрии рудных массивов и их характеристик (например, содержаний элементов-примесей). Главная проблема операции – выбор объектов для доизучения из многих сотен оценённых недостаточно. По нашему мнению, основная тенденция истощения минеральных ресурсов связана с прекращением открытия новых месторождений. Решению задачи выявления новых рудных месторождений и посвящается данная статья.

1. Прежде чем разрабатывать, предлагать и рассматривать какую-либо крупную программу изучения и оценки недр на рудные полезные ископаемые, желательно и даже необходимо объективно проанализировать и определить существующие позитивные и

негативные реалии в этой области. Конечно, в таком анализе трудно обойтись без субъективизма, но некоторые аспекты проблемы недр достаточно очевидны (во всяком случае, они в значительной степени разделяются большинством специалистов, с которыми данная проблема обсуждалась).

Первое. Месторождения действительно выявляются только на 1-3% участков, которые рекомендовались как перспективные на рудные объекты. Эти цифры приблизительные, их точность достаточно трудно проверить, но если взять отношение количества выполненных проектов по детальным поискам и/или оценке участков к числу выявленных новых месторождений, то станет ясно, что первые проценты эффективности – это реальность.

Второе. Научно-теоретические построения в области металлогении не стали существенным фактором направления прогнозно-поисковых работ. Во многом эти построения опираются на умозрительные схемы, соотносящие рудные месторождения с каким-либо геологическими телами и/или структурами, т. е. к одномерной детерминированной схеме А→М (А - геологическое тело, структура или процесс, М – месторождение определенного типа). По-видимому, такие схемы не адекватны реальным процессам формирования рудных объектов, что вынуждает при интерпретации наблюдаемых закономерностей расположения и внутреннего строения месторождений использовать гипотезы «для данного случая» (ad hoc). Примерами могут служить помещение источников металлов на большую глубину, а также чересчур широкое использование формулы «полигенность, полихронность». Все это снижает прогностическую эффективность современной металлогении, которую можно охарактеризовать как преимущественно описательную качественную. Отсюда практическая необходимость продвижения на пути формирования металлогении прогностической количественной [1].

Третье. Геологоразведочная ситуация постепенно, но коренным образом изменилась по сравнению с серединой 20-го века. В настоящее время очень низка вероятность обнаружения рудных объектов, выходящих на дневную поверхность и обладающих яркими индикативных признаками. Сейчас необходимо ориентироваться на новые поисковые технологии, обеспечивающие выявление рудных объектов с низким статусом открываемости (глубоко залегающих, перекрытых аллохтонными отложениями, не имеющих явных индикативных признаков). К последним, в частности, относятся некоторые крупнообъемные месторождения, интерес к которым резко усилился в последние годы [2,3].

Четвертое. Очень важно обратить внимание, что за последние 50 лет 70-80% рудных месторождений были открыты на основе или с использованием информации о распределении концентраций металлов и других элементов в геологической среде [4,5]. Это вполне объяснимо, т. к. картирование концентраций элементов представляет собой прямой поисковый метод, да и сами рудные месторождения являются участками повышенных концентраций какого-либо металла или металлов, т. е. структурными элементами полей концентраций. В то же время следует отметить, что дававший в 60-70-е годы прошлого столетия значительный эффект метод поиска рудных объектов по непосредственно фиксирующих положение месторождений аномалиям уже почти полностью исчерпал свой ресурс и нуждается в замене (или коренной модернизации).

И, наконец, конкретно для Казахстана необходимо проанализировать и понять, почему за последние два десятка лет не выявлены новые существенные рудные объекты. Хотелось бы надеяться, что это связано с хорошей работой геологоразведки в предыдущие периоды, т. е. все месторождения уже выявлены. Но отсутствие открытий не согласуется с высокими оценками прогнозных ресурсов почти по всем видам рудных полезных ископаемых (даже с учетом значительной завышенности этих оценок). Несомненно, сказался на отсутствии открытий кризис 90-х годов, когда финансирование геологоразведки почти прекратилось. Но фактом является и то, что кризис не был использован как новые возможности. И сейчас, когда кризис позади, мы пока продолжаем делать то же самое, т. е. использовать те же металлогенические модели и прогнозно-поисковые технологии, что

и в докризисные времена. А ведь уже в 2002 г. ситуация с минерально-сырьевыми ресурсами по некоторым стратегическим металлам и в Казахстане оценивалась как неудовлетворительная[6].

Еще одной причиной недостаточной эффективности является, несомненно, отсутствие критериев типа «качество/цена» при проектировании, выполнении и особенно при оценке результатов прогнозно-поисковых работ на рудные полезные ископаемые, а также недостаточное использование методов управления проектами (программами, портфелями проектов) на основе международных стандартов, что в такой рисковой сфере как геологоразведка приводит к снижению реальной успешности работ.

Все сказанное выше, а также позитивный и негативный опыт исследований в конкретных регионах необходимо принимать во внимание и учитывать при выборе базовых технологий прогнозно-поисковых работ на разных стадиях изучения и оценки недр.

Перспективной технологией, которая может стать «стержнем» стратегии изучения и оценки недр Казахстана на 10-20 лет, является иерархическое картирование полей концентрации рудных и других элементов (технология Ionex) [7,8,9]. При этом картируются не только валовые концентрации элементы в коренных породах, но и концентрации слабозакрепленных соединений элементов в почвах, которые фиксируют высокоподвижные формы переноса элементов в геологической среде. Такое картирование позволяет построить модели геохимических (металлогенических) структур разных масштабных уровней, выделить рудообразующие системы, представляющие собой пространственные ассоциации зон повышенных и пониженных концентраций не только на открытых территориях, но и на перекрытых рыхлыми отложениями мощностью до100-200м. В зависимости от масштаба это могут быть системы ранга рудных районов, рудных узлов, отдельных месторождений. Кроме того, картирование полей концентрации широкого круга элементов и выделение в них одномерных и многомерных структур будет стимулировать формирование новых металлогенических концепций и моделей.

2. Теоретической основой, простой и содержательно ясной базовой моделью технологии прогнозно-поисковых работ является модель перераспределения элементов «на месте» [1]. Такое перераспределение приводит к полярному структурированию полей концентрации, при котором рудные месторождения располагаются в областях накопления элементов (или их ближайшей периферии).

Возможности практического использования модели перераспределения с выделением металлогенических (рудообразующих) систем связаны с взаиморасположением областей выноса и отложения рудного вещества в пространстве. В настоящее время доминирует тенденция помещать области мобилизации и выноса на большие глубины (в принципе такой подход не что иное, как объяснение ad hoc, т. е. «объяснение для данного случая»). Но сейчас имеется множество фактов, свидетельствующих, что формирование рудных объектов происходит за счет металлов, извлекаемых из окружающих рудные объекты пород. Более подробно этот вопрос рассмотрен во многих работах [10-13 и др.].

Отсюда достаточно очевидное следствие: наиболее простыми, фундаментальными и информационно важными характеристиками геологической среды при поисках рудных объектов являются концентрации химических элементов. Картирование полей концентрации основных рудных, сопутствующих и антагонистичных к ним элементов является наиболее прямым и естественным путем прогноза и поиска рудных объектов. Как отмечалось выше, эффективность использования концентраций элементов подтверждается длительным опытом поисковых геологоразведочных работ.

Интерпретация получаемых структур полей концентрации элементов основывается на концептуальных положениях количественной металлогении, главными из которых являются:

- рудные объекты (месторождения, рудные узлы, рудные районы) не случайные геологические образования, а органично присущи земной коре и протекающим в ней процессам;
- формирование рудных объектов происходит при процессах селективного перераспределения элементов в геологической среде в рамках металлогенических (рудообразующих) систем;
- металлогенические (рудообразующие) системы различаются масштабами (от сотен тысяч до первых км^2), имеют самоподобное иерархическое строение и представляют пространственно ассоциирующие области выноса и накопления рудных, сопутствующих и антагонистических элементов;
- металлогенические (рудообразующие) системы автономны относительно структур геологической среды;
- металлогенические закономерности (закономерности размещения рудных объектов относительно структур и тел геологической среды) могут и должны описываться количественно и быть воспроизводимыми.

При интерпретации необходимо также придерживаться принципа, сформулированного А. Эйнштейном и Л. Инфельдом [14]: если какую-то закономерность можно интерпретировать на основе случайного сочетания событий (факторов) или для интерпретации вводятся какие-то специальные условия, то такие трактовки по своему достоинству ниже, чем интерпретации на основе неких более общих и фундаментальных законов или устойчивых закономерностей.

Из рассмотрения положенных в основу прогноза и поиска рудных объектов базовой модели и концептуальных основ металлогении становится достаточно очевидным, почему информационной основой предлагаемой стержневой прогнозно-поисковой технологии являются разномасштабные карты (модели, схемы) полей концентрации 20-30 и более элементов (рудных, сопутствующих и антагонистичных рудным), являющихся наиболее простыми и фундаментальными характеристиками геологической среды [1].

Важным условием построения карт концентраций элементов в коренных породах является чувствительность анализов (для каждого элемента она должна быть в 3–5 раз ниже кларковой концентрации). Что касается концентраций слабозакрепленных форм элементов в почвах (метод анализа концентраций подвижных форм - МПФ), то это фазовый анализ на содержание металлов в виде фульватов и гуматов, фиксирующих элементы в так называемом «подвижном» (квазижидком) состоянии, скорость перемещения которых в геологической среде на много порядков выше скорости диффузии металлов в твердой среде. Это дает возможность выделять и картировать геохимические (металлогенические) системы рудных объектов, а при детальных масштабах исследований выделять и сами объекты, находящиеся на глубине (до 300–500 м) или перекрытые рыхлыми отложениями.

Заметим, кстати, возможной причиной недостаточной эффективности металлогении при прогнозно-поисковых работах является то, что ее информационную основу составляет картирование горных пород, или неких производных на базе горных пород, связь которых с процессами рудообразования в основном лишь постулируются и которые не относятся к объективно определяемым в сильных шкалах характеристикам.

При выделении структур в полях концентрации элементов, в частности, геохимических систем рудных объектов, их интерпретации, а также для расширения информационного пространства при прогнозе и поисках рудных объектов будут при необходимости использоваться и другие объективно измеряемые и воспроизводимые характеристики геологической среды.

3. В технологии изучения и оценки недр на основе картирования полей концентрации элементов предусмотрена глубокая и разноплановая обработка исходной информации с помощью математических и компьютерных методов. Такая обработка позволяет из исходных данных извлечь максимально возможное количество полезной информации и знаний для решения поставленной прогнозно-поисковой задачи.

Математическая и компьютерная обработка данных включает:

- структурный анализ функций статистического распределения элементов с выделением уровней концентрации и естественных границ между ними (программа Anhis);
- построение нормальных и генерализованных аппроксимационных моделей 2-3D (программы Modeling2 и RanWind2);
- нелинейную корреляцию между концентрациями элементов в пробах и между моделями распределения концентраций элементов в пространстве 2-3D (программа FSON3); в ближайшее время будет отлажена программа анализа взаимосвязи пространственных переменных (программа DIST3), что позволит перейти к использованию при прогнозировании моделей-эталонов 4-го поколения [1].
- кластеризация многомерных модельных концентраций и районирование (программа RegSOM5);
- анализ расстояний между структурами (положительными и отрицательными экстремумами) полей концентраций (программа NPoint2).

Все программы включены в программный комплекс ELAN [9].

Поля концентрации элементов в коренных породах и слабозакрепленные формы элементов в почвах могут использоваться как прогнозирующие характеристики для оценки прогнозных ресурсов на основе технологии «Многомодельный метод прогнозирования» (описание технологии в [9], гл. 2).

В настоящее время разрабатывается методология и методика использования при прогнозе и поисках рудных объектов информации и знаний нескольких иерархических (масштабных) уровней. Такая методика понадобится уже при обработке данных 2-ой стадии картирования полей концентрации (см. раздел 4 настоящей статьи) и позволит существенно повысить точность и надежность прогнозных и поисковых работ, проводимых по технологии Ionex.

4. Выполнение стратегической программы изучения и оценки недр Казахстана планируется реализовать в 4 этапа (таблица). На этапах последовательно будут выделяться рудные объекты разных иерархических (масштабных) уровней: от рудных провинций и районов (этап 1) до участков месторождений (этап 4). Несмотря на условное разделение рудных объектов на иерархические или масштабные уровни и неопределённость границ между ними (это пока предмет договорённости для конкретных случаев), принятая на каждом этапе сеть опробования обеспечивает выделение потенциально перспективных объектов по 20-50 точкам опробования. Этого обычно достаточно для их оценки и выдачи рекомендаций по дальнейшему направлению работ.

На каждом этапе будут выполняться :

- отбор проб коренных пород и проб почвы;
- анализ проб коренных пород на 20–25 элементов с чувствительностью анализов в 3–5 раз ниже кларковых концентраций для каждого элемента; анализ проб почв на концентрацию слабозакреплённых форм тех же элементов в гумусе (метод МПФ) [9];
- построение моделей 2D распределения концентраций элементов в коренных породах и слабозакрепленных форм в почвах (картирование полей концентраций);
- выделение геохимических структур и геохимических (металлогенических) систем рудных объектов;
- количественная оценка прогнозных ресурсов по технологии многомодельного метода прогнозирования, интерпретация результатов и выдача рекомендаций по направлению дальнейших работ.

Наиболее важным и во многом определяющим успешное выполнение всей программы является I-ый региональный (глобальный) этап. Отметим, что региональные геохимические работы занимают важное место в Стратегии развития геологической отрасли России до 2030 г.[15]. Региональные работы будут выполняться на площади 1,2–1,3 млн км^2, т. е. на всей территории Казахстана, свободной от мощного чехла рыхлых отложений. Выполнение этого этапа работ создает фундамент для работ всех последующих стадий. Его основными целями являются:

- создание объективной и воспроизводимой информационной основы для получения принципиально новых знаний по региональной металлогении и выделение потенциально перспективных на цветные, редкие и благородные металлы районов для постановки работ 2-го этапа;
- получение новых знаний о региональных закономерностях размещения рудных объектов уровня рудных районов и крупных рудных узлов;
- выделение, определение металлогенической специализации и получение количественной оценки прогнозных ресурсов выделенных перспективных районов.

Результатами выполнения работ I-го этапа программы развития минерально-сырьевого комплекса Казахстана будут:

- построение комплекта карт распределения концентраций элементов в коренных породах и концентраций подвижных форм элементов в почвах по территории Казахстана (масштаб 1:2 000 000);
- выделение региональных геохимических структур (моно- и полиэлементных) и региональных металлогенических (рудообразующих) систем рудных объектов ранга рудных районов, крупных рудных узлов или сверхкрупных месторождений;
- выделение, ранжирование и количественная оценка потенциально перспективных площадей.

Стоимость выполнения работ I- этапа составит 200–250 млн тенге.

Выполнение всей программы может быть реализовано в течении 8–15 лет (в зависимости от полноты выполнения). От полноты выполнения будет зависеть и общая стоимость. Работы 1-го и 2-го этапов должно, вероятно, финансировать государство, хотя не исключено участие крупных компаний, стратегически ориентированных на долговременное присутствие в Казахстане. К финансированию работ 3-го и 4-го этапов должны активно подключаться недропользователи.

Схема поисков рудных месторождений в Казахстане на основе технологии Ionex

ЭТАПЫ	Основной масштаб	Примерная площадь, км^2	Сеть точек опробования	Выделяемые объекты	Получаемые знания	Примечания
1	2	3	4	5	6	7
I 2012–2014 гг.	1:2 000 000 (региональный)	1 200 000–1 300 000	18 х 18 км	Рудные районы, крупные рудные узлы	Новые знания по металлогении Казахстана	Изучается вся территория Казахстана, где мощность рыхлых отложений меньше 200–400 м
II 2013–2018 гг.	1:500 000 (региональный)	15 000–40 000	4 х 4 км	Рудные узлы, участки крупных месторожде-	Новые знания по металлогении рудных и потенциально	Изучаются 9–12 площадей, соответствующих рудным

				ний	рудных районов	районам или крупным рудным узлам (20–30% площади работ этапа I)
III 2015–2020 гг.	1:200 000–1:100 000 (локальный)	500 – 1500	2 х 2 или 1 х 1 км	Небольшие рудные узлы, рудные поля, участки месторождений	Новые знания о количественных закономерностях локализации месторождений и рудных зон	Изучается 4–10 участков на каждой площади, выделенных как перспективные на этапе II (всего 40–60 участков)
IV 2016–2020 гг.	1:25 000 (детальный)	60 – 120	16 проб на 1 км^2	Месторождения, рудные зоны для постановки буровых работ		Изучается по 1–3 объекта на каждом из участков работ этапа III

Технологию картирования полей концентрации элементов желательно дополнить интерпретацией аэрокосмических данных (например, по CS- технологии) , гравитационных и магнитных полей, а на детальном этапе электроразведочными методами.

В геологоразведке, которая в принципе является весьма рисковой отраслью, опасно говорить о конкретных прикладных результатах. Если сравнивать с результатами выполнения примерно аналогичных программ в Китае, то, с введением поправок на степень изученности и неполноту имеющейся у нас информации о реальном количестве и качестве выявленных там месторождений, на территории Казахстана можно ожидать выявление до нескольких десятков новых месторождений цветных, благородных и редких металлов.

Как видно из изложенного выше, предлагаемая в качестве стержневой технология изучения и оценки недр учитывает особенности и проблемы этого процесса в настоящее время. В качестве теоретической основы она использует новую металлогеническую модель, которая проверяема на практике и, как надеемся, окажется более продуктивной в прикладном аспекте. Технология базируется на картировании полей концентрации системы элементов, т. е. на подходе, который в течении последних десятилетий зарекомендовал себя как наиболее эффективный и надежный метод прогноза и поисков рудных месторождений. Кроме того, технология прямо ориентирована на выявление рудных объектов с низким статусом открываемости, что обеспечивается картированием полей концентраций элементов нескольких масштабных уровней и использованием методов фазовой геохимии (картирование слабозакрепленных форм элементов).

5. Проведенный SWOT- анализ программы работ позволил априорно оценить ее потенциальные возможности, сильные и слабые стороны, угрозы успешному выполнению и наметить действия по компенсации слабых сторон и снижению уровня угроз.

Возможности программы:

- создание предпосылок (информационных и в виде новых знаний) по формированию более продуктивных в прикладном отношении металлогенических положений (законов);
- прямая направленность на выявление рудных объектов с низким статусом открываемости:

• использование для прогноза воспроизводимой информации нескольких масштабных уровней;

• вероятность обнаружения нескольких десятков рудных объектов (в том числе и крупных).

Сильными сторонами программы являются:

- большой новый фактический материал (информация I-го рода);
- применение нестандартных базовых металлогенических моделей и новой методологии исследований;
- широкое применение профессиональных компьютерных технологий;
- наличие положительного мирового опыта при использовании подобных подходов к поиску рудных месторождений;
- наличие положительного опыта подобных работ в Казахстане на территории Рудного Алтая;

Слабые стороны программы:

- недостаточная мощность, надежность и развитость аналитической службы в Казахстане;
- малый организационный опыт выполнения многолетних системных программ;
- сложная организационная схема выполнения работ по программе.

Существующие угрозы выполнения программ:

- сбои в аналитическом обеспечении работ (по срокам, количеству и качеству анализов);
- нарушение системности выполнения программы;
- остановка работ на разных стадиях из-за отсутствия явных положительных результатов;
- прекращение финансирования работ заказчиком или заказчиками по объективным причинам;
- негативное давление устоявшихся представлений, парадигм, корпоративных интересов и личных амбиций.

Действия по компенсации слабых сторон и угроз:

- использование практики управления проектами на основе стандарта PMBOK и других;
- вложение части средств в развитие аналитической базы и поиски альтернативных возможностей (в том числе и за рубежом);
- разработка системы контроля и создание специальной службы мониторинга отбора проб, пробоподготовки и анализа проб;
- постоянное обучение участвующего в выполнении программы персонала;
- приглашение независимых экспертов для оценки работ по программе и постоянное объективное информирование заказчика (заказчиков) о выполнении программы и возникающих проблемах.

Как показывает опыт, наибольшую угрозу программе изучения и оценки недр Казахстана представляют укоренившие стереотипы, сиюминутные корпоративные интересы и личные амбиции, т. к. против таких угроз современное общество не выработало эффективную защиту.

В заключении авторы выражают благодарность коллегам, поддержавшим необходимость использования новой технологии картирования полей концентрации элементов с выделением геохимических систем рудных объектов для изучения и оценки недр Казахстана, а также оппонентам, возражения которых стали стимулом для углубленного осмысления предлагаемой программы и её развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лось В.Л.* Металлогения: проблемы, тренд развития // Науки о Земле в Казахстане. Алматы, 2012. С.21-43.

2. *Кривцов А.И., Звездов В.С., Мигачев И.Ф., Минина О.В.* Медно-порфировые месторождения. Серия: модели месторождений цветных и благородных металлов. М., ЦНИГРИ.2001.232 с.

3. *Рафаилович М.С.* Крупнотонажные месторождения золота и цветных металлов Казахстана. Руды и металлы. 2011. №1. С. 23-35.

4. *Кременецкий А.А.* Принципы и технология разномасштабных прогнозно-поисковых геохимических работ. Поисковая геохимия: теоретические основы, технологии, результаты. Алматы. 2004. С. 13-25.

5. *Wang Xuegiu, Xie Xuejing* Geochimical mapping: implications for mineral exploration and assessment. Поисковая геохимия: теоретические основы, технологии, результаты. Алматы. 2004. С. 26-41.

6. *Ужкенов Б.С.,Сайдуакасов М.А., Мазуров А.К., Селифонов Е.М.* Минерально-сырьевая база меди, свинца, цинка, золота Республики Казахстан. Состояние, прогноз развития// Сырьевая база свинца и цинка, меди и золота Казахстана. Алматы, 2002. С.4-5.

7. *Goldberg I.S., Abramson G.J., Naslam C.O., Los V.L.* Geoelectrochemanical Exploration: Principles, Practice and Performance // Recourcing the 21st Contary. Australia, Ballarat, 1997, p.193-199.

8. *Goldberg I.S., Abramson G.J., Los V.L.* Depletion and enrichement of primary haloes: their importance it the genesis of and exploration for mineral deposits. Geochemistry Exploration, Environment, Analysis. Vol 3, 2003, p.281-293.

9. *Лось В.Л. и др.* Прогноз, поиски и моделирование рудных объектов. Комплексная переработка минерального сырья Казахстана. Том 1а. Алматы. 2008. 466 с.

10. *Бадалов С.Т.* Геохимические особенности рудовмещающих систем. Ташкент. 1999. 143 с.

11. *Гольдберг И.С.* Рудообразование в геоэлектрохимических системах. Геология и охрана недр. 2005. 2(5). С. 23-40.

12. *Лось В.Л.* Металлогенические системы и механизмы рудообразования. Геология и охрана недр. 2005. 4(7). С. 28-40.

13. *Гольдберг И.С.* Источники металлов рудных месторождений. Геология и охрана недр, 2012, 2(43),. С. 53-64.

14. *Эйнштейн А., Инфельд Л.* Эволюция физики. М., Наука, 1965.382 с.

15. *Головин А.А.* Региональные геохимические исследования в России: результаты, проблемы, стратегия. Геология и охрана недр. 2011.4(41). С.2-10.