

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТОКСИЧНОСТИ  
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**(методические рекомендации)**

**Голева Р.В., Иванов В.В.,  
Куприянова И.И., Маринов Б.Н.,  
Новикова М.И., Шпанов Е.П., Шурига Т.Н.**

Министерство природных ресурсов Российской Федерации  
(МПР России)

ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт  
минерального сырья им. Н.М.Федоровского (ФГУП ВИМС)

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ  
ТОКСИЧНОСТИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
(методические рекомендации)**

Москва  
2001 г.

**Голева Р. В., Иванов В. В., Куприянова И. И., Маринов Б. Н.,  
Новикова М. И., Шпанов Е. П., Шурига Т. Н.**

**Экологическая оценка потенциальной токсичности рудных  
месторождений (методические рекомендации). М., 2001, 53с.**

Методические рекомендации направлены на экологическую оценку рудных месторождений – природных потенциально токсичных геохимических аномалий. Предложена принципиальная геоэкологическая модель рудного месторождения. Определены виды и индикаторы токсичности. Разработаны методические основы и принципы экологической оценки потенциальной токсичности рудных месторождений. Предложен экспрессный вариант экологической оценки и создана методика комплексной экологической оценки состояния геологической среды месторождений на базе их вещественного состава. На материале эталонных объектов сделана предварительная геоэкологическая типизация рудных месторождений и рассмотрены примеры их экологической оценки по видам и индикаторам потенциальной токсичности.

Рекомендации предназначены недропользователям всех видов собственности, оценивающим, разведующим и разрабатывающим рудные месторождения, а также специалистам природоохранных служб.

Редактор кандидат геолого-  
минералогических наук

Пугач С.Л.

Разработаны: в ВИМСе в плане выполнения НИР (1998-2000 г.,  
темы № 184, 186, 3.26)

Компьютерная верстка Ивановой А.П.  
Дизайн обложки Скороходов В.А.

Тираж 300 экз.  
Подписано в печать

## Содержание

Введение.....	4
1. НАЗНАЧЕНИЕ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ, ОГРАНИЧЕНИЯ.....	5
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТОКСИЧНОСТИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ.....	9
2.1. Экспрессный метод экологической оценки рудных месторождений.....	9
2.2. Методические основы и принципы комплексной геоэко- логической оценки рудных месторождений по вещественному составу.....	16
2.2.1. Геоэкологическая модель рудного месторождения.....	16
2.2.2. Виды токсикантов и индикаторы токсичности рудных месторождений (современное состояние).....	18
2.3. Методика оценки экологического состояния геологической среды рудных месторождений на основе вещественного состава.....	21
3. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ЭТАЛОННЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ПРИМЕРЫ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПО ВИДАМ И ИНДИКАТОРАМ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТОКСИЧНОСТИ.....	29
Заключение.....	46
Приложение 1 - Краткая характеристика токсичности основных и редких элементов рудных месторождений и их влияние на человека.....	48
Приложение 2 - Главные проявления токсичности микроэлементов у распространенных сельскохозяйственных культур.....	50
Литература.....	51

## Введение

Рудные месторождения – это природные геохимические аномалии, которые представляют собой потенциальные и реальные источники супертоксицидных элементов и элементов 1, 2, 3 и 4 групп токсичности. Токсиканты проникают практически во все депонирующие и транспортирующие природные среды вследствие естественного разрушения рудных масс и в процессе освоения месторождений. Разведка и разработка месторождений во многих, особенно в старых, горнорудных районах России уже привела к серьезному нарушению экологического равновесия. Возникли и существуют сложные природно-техногенные экосистемы, негативное влияние которых до конца не оценено, в связи с чем представляется во многих случаях непредсказуемым. Экологическая опасность усугубляется еще и тем, что вблизи или в зоне влияния разрабатываемых рудных месторождений, как правило, располагаются градопромышленные агломерации, где проживает обеспечивающее их освоение население.

Воздействие рудных месторождений на окружающую среду в России в настоящее время недостаточно регламентировано и слабо контролируется в экологическом и природоохранном отношении. Это объясняется недостаточностью необходимых научно обоснованных фактических данных о видах токсикантов в различных рудных месторождениях и возникающих при их освоении природно-техногенных экосистемах. Не разработаны принципы обоснования индикаторов токсичности и не существует системы индикаторов токсичности, которую можно было бы использовать в качестве критериев оценки экологического состояния геологической среды. Имеются лишь единичные публикации, в которых предприняты попытки систематизировать и типизировать рудные месторождения по ассоциациям токсикантов и формам их нахождения, т.е. одним из главных факторов, определяющих реальную экологическую опасность природных геохимических экологически опасных аномалий.

Среди опубликованных работ этого направления следует назвать монографии Э.Ф.Емлина [12] и Б.А.Колотова [18], учебное пособие В.В.Гавриленко [7] статьи В.В.Иванова и Юшко-Захаровой [13, 15], шеститомный справочник по экологической геохимии В.В.Иванова [14], обзор Е.П.Янина [29], докторскую диссертацию Л.П.Рихванова [27], справочники серии “Минеральное сырье” по видам полезных ископаемых МПР России [23], статьи Р.В.Голевой [8, 9, 10, 11], Методи-

ческие рекомендации по геохимическим исследованиям для оценки воздействия на окружающую среду горнодобывающих предприятий [20]. Методические рекомендации № 123 НСОММИ, направленные на экологическую оценку рудных месторождений по токсичным органическим соединениям, разработанные в ВИМСе [2] и некоторые другие.

Внимание к проблемам экологической оценки рудных месторождений как потенциально опасных природных токсичных аномалий привлекается также основными регламентирующими документами МПР России "Положением об оценке воздействия на окружающую среду в РФ (ОВОС)", утвержденным приказом МПР России 18/VI-94 № 222 [24], Положением о порядке осуществления государственного мониторинга состояния недр Российской Федерации, утвержденным МПР России 21.05.01 №433 [26] и Постановлением Коллегии МПР России от 10.11.95 № 16-1) [25], а также "Методическими указаниями к экологическому обоснованию проектов разведочных кондиций на минеральное сырье" МПР России и Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ГКЗ), 1995 г. [21].

Настоящие рекомендации, посвященные оценке потенциальной токсичности неорганической составляющей вещественного состава рудных месторождений, разработаны в ВИМСе в плане выполнения в 1998-2000 гг. НИР на тему: "Геоэкологическая типизация рудных месторождений по основным видам и индикаторам загрязнения", поставленной в связи с задачами МПР России по разработке первоочередных нормативно-методических документов для обеспечения геолого-производственных предприятий и НИИ, выполняющих геоэкологические исследования.

Рекомендации предназначены недропользователям всех видов собственности, оценивающим, разведующим и разрабатывающим рудные месторождения, а также специалистам региональных природоохранных служб.

## **1. НАЗНАЧЕНИЕ, ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ, ОГРАНИЧЕНИЯ**

Целевым назначением методических рекомендаций является экологическая оценка рудных месторождений как природных потенциально токсичных геохимических аномалий на основе геоэкологической типизации этих месторождений по видам и индикаторам токсичности для разработки эффективных систем природоохранных меро-

приятий на всех стадиях их освоения.

Отнесение конкретного рудного объекта к тому или иному геоэкологическому типу важно при проведении предпроектных экологических экспертиз, оценке состояния окружающей природной среды до начала геологоразведочных работ и освоения месторождения.

В зависимости от того, какие виды токсикантов и индикаторы токсичности свойственны данному геоэкологическому типу месторождения, должны разрабатываться принципы заложения и конкретная организация сети наблюдений экологического мониторинга и регламента наблюдений, а также планироваться конкретные природоохранные мероприятия, что в значительной мере определяет эколого-экономическую оценку месторождения, а следовательно, и его рентабельность.

Геоэкологическая типизация необходима для создания экологического паспорта горнорудного предприятия, для обоснования организации и осуществления системы санитарно-гигиенических и медико-биологических мероприятий в районе освоения месторождения. Научно обоснованная система индикаторов токсичности для конкретных геоэкологических типов рудных месторождений позволит сократить временные и материальные затраты на получение экологической информации, которая необходима: при выдаче лицензий недропользователям; при составлении экологических разделов в геологических отчетах к ТЭО; при создании кадастров и банков данных по рудным месторождениям; при определении страховых рейтингов для городских агломераций в зонах освоения рудных месторождений; при проведении экологического аудирования горнорудных предприятий и решения других социально значимых проблем.

Отнесение месторождения к определенному геоэкологическому типу – первый шаг экологического прогнозирования, позволяющий предсказать пути развития природно-техногенной экосистемы, которая будет формироваться и трансформироваться по мере освоения месторождения и к снижению степени экологических риска и ущерба.

При проведении геологоразведочных работ [5,6] исполнители смогут неоднократно опираться на геоэкологическую типизацию рудных месторождений по видам токсикантов и индикаторам токсичности. На стадии 3 (Оценка месторождений) представления о геоэкологическом типе позволят сразу же принять меры к усовершенствованию принципиальной схемы переработки руд с целью соблюдения необходимых экологических норм. Данные о геоэкологическом типе оцениваемого

месторождения должны быть использованы при составлении ТЭО о передаче месторождения в разведку и освоение, а также в пакете геологической документации, которая подготавливается для проведения конкурса или аукциона при представлении лицензии на геологическое доизучение месторождения и добычу полезного ископаемого. Это позволит предусмотреть необходимые затраты для предотвращения или ликвидации экологического ущерба. На стадии 4 (Разведка месторождений) данные о геоэкологическом типе рудного месторождения должны быть учтены при проектировании строительства или реконструкции горнодобывающего предприятия и включены в материалы подсчета запасов и при составлении ТЭО освоения месторождения. Эта информация позволит правильно спроектировать размещение отдельных узлов горнодобывающего предприятия: промзона (керно- и хвостохранилище, фабрика, транспортные предприятия) и жилые постройки. При подсчете запасов должны быть учтены расходы на природоохранные мероприятия с целью эффективной оценки рентабельности освоения рудного месторождения в целом. На стадии Эксплуатационной разведки (стадия 5) при уточнении контуров и вещественного состава руд, их внутреннего строения, количества и качества запасов по сортам руд и уточнении схемы их обработки, должны учитываться данные о составе, содержаниях и распределении в рудах токсичных элементов, характерных для данного геоэкологического типа с целью разработки безотходных экологически чистых технологических схем переработки руд, а также системы хранения отходов.

Геоэкологическая типизация рудных месторождений по видам и индикаторам потенциальной токсичности необходима при организации мониторинга состояния геологической среды на территориях их освоения. Для осуществления мониторинга важно определиться с набором индикаторов (*экогеохимических, экоминералогических и экогидрогеохимических*), за которыми должен быть установлен контроль на данном месторождении и площадях, где может быть оказано его влияние при освоении.

Приставка «эко» к традиционным терминам: геохимические, минералогические, гидрогеохимические индикаторы, обозначает, что при экологической оценке рудных месторождений по видам и индикаторам потенциальной токсичности во внимание принимаются только те элементы, минералы и компоненты водных сред, которые представляют

собой экологическую опасность для здоровья персонала и населения, проживающего в зоне влияния горнорудного производства.

Экогеохимические и экогидрогеохимические индикаторы – это те элементы в общем геохимическом спектре руд (пород) и водных сред месторождения, которые существенно превышают нормативные показатели, вследствие чего определяют экологический риск.

К экоминералогическим индикаторам относятся потенциально токсичные минеральные фазы, присутствующие в составе руд, первичных и вторичных ореолов месторождения или образующиеся в отходах горнорудного производства. В зависимости от характера индикаторов и их распространения выделяют ведущие *депонирующие* и *транспортирующие* среды, в которых могут накапливаться или мигрировать токсиканты и вследствие чего они должны подвергаться обязательному опробованию, а также обосновывают периодичность мониторингового наблюдения и наиболее рациональный комплекс методов минералого-геохимического анализа проб.

Ограничение методики определяется в настоящее время недостаточностью минералого-геохимической информации в части присутствия, уровней содержания и сведений о формах концентрации токсичных элементов на многих рудных месторождениях. Это вызвано тем обстоятельством, что изучение месторождений, даже при планировании комплексного использования их руд, ограничивалось определением содержаний, выявлением и диагностикой форм концентрации только промышленно полезных элементов или элементов, осложняющих технологический процесс при их извлечении. Дополнительно учитывались элементы-спутники и элементы-индикаторы руд в качестве поисковых признаков для повышения эффективности прогнозно-поисковых работ, особенно при прогнозировании слабопроявленных рудных объектов. Полные же перечни токсичных элементов, которые часто на месторождениях имеются в крайне ограниченных количествах, как правило, отсутствуют. Нет систематических данных на большинстве месторождений о распределении потенциальных токсикантов в различных депонирующих и транспортирующих средах, о формах их концентрации, а тем более о взаимопревращениях токсикантсодержащих фаз при переходе из одной среды в другую и т.д. Поэтому данные методические рекомендации имеют предварительный характер.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТОКСИЧНОСТИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Сущность методических рекомендаций сводится к оценке потенциальной токсичности рудных месторождений как экологически опасных природных геохимических аномалий. Рассматриваются два метода экологической оценки рудных месторождений:

- экспрессный метод, основанный на определении экогеохимичности и экоминералогичности руд месторождения;
- метод комплексной оценки потенциальной токсичности (экологической опасности) рудного месторождения на основе анализа экосистемы рудного месторождения в целом.

### 2.1. Экспрессный метод экологической оценки рудных месторождений

Этот метод основан на оценке экогеохимичности и экоминералогичности рудных месторождений [13, 15].

Оценка экологической опасности любого потенциально токсичного объекта в окружающей среде, в том числе и рудного месторождения, начинается с изучения его геохимических особенностей, затем минерального состава и, наконец, закономерностей распределения потенциально токсичных веществ в пространстве и выявления их объемов. В этой цепочке на первом месте должны стоять эколого-токсикологические данные о значениях и классах опасности химических элементов и их соединений в различных средах (атмосфера, гидросфера, почвы, геологическая среда) [13, 14, 15]. Эколого-токсикологические данные в нашей стране появились с 50-х годов и все время уточняются и пополняются [4, 14, 22]. В токсикологических справочниках приводятся данные о более 3000 значениях ПДК, ВДК (ОБУВ)\* для большинства известных вредных веществ.

Наибольшее их количество имеется для органических соединений и характеризует состояние атмосферы (более 1500 ПДК<sub>мр</sub>, ПДК<sub>сс</sub>, ПДК<sub>рз</sub>)\*, гидросферы (более 1300 показателей ПДК для водных сред) и почв (несколько десятков показателей). Значения показателей изучен-

---

\* ВДК – временно допустимая концентрация (то же ОБУВ);

ПДК<sub>мр</sub> – предельно допустимая концентрация в атмосферном воздухе, разовая;

ПДК<sub>рз</sub> – то же в воздухе рабочей зоны;

ПДК<sub>сс</sub> – то же среднесуточная в атмосферном воздухе.

ных веществ для перечисленных сред различны по абсолютным значениям и оценкам классов опасности. Они не имеют каких либо сопоставлений ни между собой, ни с генеральными геохимическими оценками (кларки, ферсм<sup>\*</sup>, фоны). Это не позволяет непосредственно использовать эколого-токсикологические данные для экологической оценки объектов геологической среды, а следовательно, и рудных месторождений как интенсивных природных потенциально экологически опасных геохимических аномалий.

В экогеологических исследованиях токсикологические показатели до 80-х годов вообще не использовались, что не позволяло развивать количественные экологические направления в геохимии, минералогии и т.д. Чтобы определить экогеохимическую обстановку в твердых геологических объектах, не охваченных токсикологией, был предложен переход от эколого-токсикологических классов опасности веществ в депонирующих и транспортирующих средах (воздух, вода, почвы) к литообъектам [13, 14, 15].

На основе максимально высокой для конкретного элемента (вещества) токсикологической оценки класса опасности, который в токсикологии [4] имеет 4 градации от самой высокой (I класс) до самой низкой (IV класс), и медико-гигиенических данных составлена новая эколого-геохимическая (экогеохимическая) шкала опасности элементов (веществ) и введен ряд показателей [13, 14]:

**патологичность (П)**

**экогеохимичность (ЭГ)**

**литотоксичность (Тл) (13, 14).**

Эти показатели выведены эмпирически, могут рассматриваться только как условные и предварительные, нуждающиеся в уточнении.

**Показатель патологичности (П)** основан на выведенных рядах элементов в зависимости от числа заболеваний у человека, отмеченных при избытке или недостатке того или иного элемента. Ряды элементов (в скобках указано количество учтенных патологий):

- при избытке элемента: Hg (21), As (19), Tl (17), Ni (15), Be, Cd, Pb (по 14), Co (12), Br (11), Cu (10), V, Cr, B (по 8), Li (6), I, Bi, Sr (4), In (3), Zn, Ag (по 2), Sn (1); при недостатке элемента: Zn (14), Cu (13), I, Se (по 10), Co (8), Ni (4), Pb (3), Cd (2), B, Br (по 1).

---

\* Ферсм – региональная оценка среднего содержания элемента.

Эти ряды весьма изменчивы, так как продолжается поступление информации и, кроме того, до сих пор медиками не учитывается фактор суммации элементов и многие другие закономерности. Тем не менее, приведенные ряды в определенной мере отражают представления отечественных экологов-токсикологов-гигиенистов [4, 14] и положены в основу коэффициента патологичности с учетом экогеохимических особенностей элементов.

Показателю патологичности (**П**) условно придана пятибалльная шкала. Систематика элементов по показателю патологичности выглядит следующим образом (от наиболее к наименее патологичным):

**5** – Hg, Co, Cu; **4,5** – I; **4** – Be, Ni, Zn, As, Se, Cd, Tl, Pb; **3** – B, V, Cr, Br; **2,5** – Sr; **2** – Li, Ag, In, Bi; **1** – Sn.

**Показатель общей экогеохимичности (ЭГ)** элемента учитывает как токсикологические (класс опасности), так и патологические особенности элемента. Ряд снижения экогеохимического показателя следующий: Cd, Hg, Tl (**21**) > Be (**20**) > Pb (**17**) > Co, Ni, As, Se, B (**16**) > V, Cr, Br (**15**) > Cu, Zn, Te (**12**) > Sr (**14**) > Li, Sb, Bi (**9**) > Sn, Ag (**8**) > In (**4**).

**Коэффициенты литотоксичности Тл элементов** [13, 14] условно сгруппированы в 4 группы по классу опасности с присвоением соответствующего числа баллов:

- *чрезвычайно опасные (супертоксичные) Тл=15* – это наивысший балл. К этой группе относятся Hg, Cd, Tl, S, Sr, Ba, Be, U, Ra, Rn, Cs;
- *высокой опасности Тл=10*. К этой группе относятся Pb, Se, Te, As, Sb, B, F, Th, V, Cr, Ru, Co, Ni.

Эти две первые группы элементов соответствуют первому классу токсикологической опасности:

- *средней опасности Тл = 5*. К этой группе относятся Cu, Zn, S, Bi, Ag, Ba, Mo, In, Ge, Sr, W, Al, Li, Mn, Cs, Cl, Sn, P. Элементы этой группы соответствуют 2 и 3 классам токсикологической опасности;
- *незначительной опасности Тл = 1*. К этой группе элементов, которая соответствует 4 классу токсикологической опасности, относятся Nb, Zr, Ti, Na, K, Ta, Ca, Si, Mg, Th.

Следует отметить, что некоторые расхождения экогеохимико-токсикологической систематики от принятой в нормативной [4] токсикологии объясняются все еще слабой фактологической основой, на которой базируются количественные расчеты.

Как известно, в экогеохимии основным вещественным показателем является отношение содержания токсиканта в изучаемом объекте (в данном случае в рудном месторождении) ( $X$ ) к генеральному среднему содержанию этого элемента в природной окружающей среде ( $Q$ ). При глобальных исследованиях используется кларк земной коры, при региональных – ферсм или фон. Это отношение обозначается символом  $V^x$ ) (вернад), введенным В.В.Ивановым [13]. Он характеризует степень концентрации или рассеяния элемента по сравнению с кларком, ферсмом, фоном. Последовательное их использование дает результаты все более приближающиеся к местным условиям.

Имея уточненные экотоксикологические показатели элементов – Тл для объектов геологической среды и геохимический показатель В, легко установить экогеохимическое значение любого объекта, для которого известен полный химический состав. Этот прием может быть использован для экспрессной оценки потенциальной токсичности рудных месторождений – природных экологически опасных геохимических аномалий.

Подсчет потенциальной токсичности рудного месторождения производится по формуле:

$$ГЭр = \sum_{i=1}^n (Тл \cdot В)_i + \dots + (Тл \cdot В)_n, \text{ где}$$

ГЭр – потенциальная токсичность рудного месторождения (показатель В.В.Иванова) [13-15],

Тл – коэффициент литотоксичности элемента,

$$V^x) \text{ -вернад} - V = \frac{X}{Q},$$

n – число токсикантов в рудном месторождении.

Оценка экоминералогических особенностей рудных месторождений базируется на устойчивости минеральных фаз ( $Y$ ) и способности за счет природного гипергенного и техногенного (при освоении месторождения) разрушения загрязнять окружающую среду потенциально токсичными компонентами своего реального состава. При этом необходимо учитывать, что кроме “формульных” элементов в любом

---

<sup>x)</sup> Вернад – синоним показателя  $K_k$  – кларк концентрации элемента. Назван в честь В.И.Вернадского, впервые применившего это отношение [13].

минерале содержатся различные микропримеси, что определяется типоморфными особенностями минералов. Необходимо иметь конкретные перечни этих примесей, пределы их содержаний и, что немало важно, формы их нахождения в различных минеральных фазах. Геохимия минералов сегодня не вызывает особых затруднений, так как имеются данные по средним содержаниям различных типичных элементов для каждого минерального вида и даже такие оценки для микропримесей в минералах главных типов месторождений.

Совершенно по-другому складывается положение с **показателем устойчивости минералов (У)**. Устойчивость минерала – переменная величина, связанная с внешними и внутренними причинами. Эта проблема, особенно с экологической точки зрения еще очень слабо изучена. Устойчивость зависит прежде всего от растворимости, а также от многих других свойств минерала, которые приведены в минералогических и химических справочниках, а в случае необходимости определяются экспериментально с учетом характера среды его нахождения. С учетом устойчивости потенциальная опасность минерала вычисляется по формуле:

$$\Gamma_{Эм} = (1/U) \cdot \sum_{i=1}^n (Тл)_i + \dots + (Тл)_n,$$

где  $\Gamma_{Эм}$  – показатель потенциальной экологической опасности данного минерала;  $U$  – устойчивость минерала;  $Тл$  – литотоксичность элементов, входящих в минерал;  $n$  – число потенциально токсичных элементов.

По значению  $\Gamma_{Эм}$  условно выделяются три градации потенциальной экологической опасности минералов [13, 14, 15]:

- очень высокая  $\Gamma_{Эм} - n^5 - n^8$ . Это самородные металлы Pb, Te, Hg, халькогениды Cd, Hg, Pb, As, Ni, Zn, Co, Fe, силикаты Be, фосфаты U и др.

- высокая  $\Gamma_{Эм} - n^3 - n^4$ . Это многие силикаты, фосфаты, некоторые оксиды и др.

- незначительная  $\Gamma_{Эм} \leq n^2$ . Это большинство минералов, без существенных примесей супертоксичных и высокотоксичных компонентов.

Разработанные оценки  $\Gamma_{Эм}$  имеют кларковый характер. Для минералов пород и руд разных типов месторождений  $\Gamma_{Эм}$  значительно различаются. Это обстоятельство затрудняет использование экомине-

ралогических показателей потенциальной опасности рудных месторождений. Тем не менее, экоминералогический показатель рудного месторождения  $\Gamma \text{Эр}$  может быть подсчитан как суммарное множество экоминералогических показателей главных и редких минералов руд. При этом каждый  $\Gamma \text{Эм}$  входит в формулу  $\Gamma \text{Эр}$  со своим значением показателя устойчивости минерала  $Y$ :

$$\Gamma \text{Эр} = \sum_{i=1}^n \frac{(\Gamma \text{Эм})_i}{(Y)_i} + \dots + \frac{(\Gamma \text{Эм})_n}{(Y)_n}$$

В таблице 1 приведены средние значения  $\Gamma \text{Эр}$  некоторых типов металлических месторождений полезных [14].

Таблица № 1

*Показатели потенциальной экологической опасности ведущих промышленных типов месторождений основных видов полезных ископаемых литосферы*

Полезное ископаемое	Тип месторождения	$\Gamma \text{Эр}$
1	2	3
Fe	Магматогенный в базит-ультрабазитах	$10^2$
	Скарновый	$10 \cdot 10^4$
	Железистые кварциты	$10^2$
	Карбонатитовый	$10^3$
	Магнетитовый гидротермальный	$10^3$
Al	Нефелиновый	$10^2$
	Нефелин-апатитовый агпаитовый	$10^3$
	Анортозитовый	$10^2$
	Бокситовый	10
	Алунитовый	$10^2$
	Давсонитовый	$10^2$
P	Карбонатитовый	$10^3$
	Нефелин-сиенитовый агпаитовый	$10^3$
	Фосфоритовый осадочный	$10^4$
Mn	Метаморфогенный (гандиты)	$10^2$
	Осадочный	$10^3$
	Железо-марганцевые конкреции	$10^4$
Cr	Хромитовый в ультрабазитах	$10^3$
S	Колчеданный	$10^3 \cdot 10^4$
	Осадочный	$10^3$

1	2	3
Ti	Базит-ультрабазитовый Анортозитовый	$10^2$ $10^2$
Cu	Медно-никелевый Медно-цинковый колчеданный Медно-молибденовый порфиновый Стратиформный	$10^4$ $10^4$ $10^3$ $10^4$
Pb, Zn	Колчеданно-полиметаллический Жильный Скарновый Стратиформный	$10^4$ $10^3$ $10^4$ $10^4$
Ba	Баритовый стратиформный	$10^3$
Sr	Стратиформный	$10^3$
Ni, Co	Медно-никелевый Арсенидный Силикатный выветривания	$10^4$ $10^5$ $10^4$
Mo	Грейзеновый (апоскарновый) штокверковый Молибден-медный порфиновый Кварц-силикатный гидротермальный	$10^3$ $10^3$ $10^3$
Sn	Грейзеновый Силикатный Сульфидный Россыпной	$10^2$ $10^3$ $10^4$ $10^2$
W	Грейзеновый Скарновый штокверковый Метаморфогенный стратиформный	$10^4$ $10^4$ $10^3$
Nb, Ta	Сиенитовый агапитовый Карбонатитовый Щелочногранитовый	$10^4$ $10^3$ $10^4$
Hg, Sb	Дикситовый Джаспероидный Лиственитовый Полиаргиллитовый Карбонатный	$10^6$ $10^6$ $10^6$ $10^6$ $10^6$
Ba	Пегматитовый Грейзеновый Бериллий-фтор-силикатный	$10^4$ $10^4-10^5$ $10^6$

В связи с тем, что приведенные в таблице 1 данные в других регионах и при других условиях могут быть существенно иными, следует их рассматривать только как ориентировочные.

Использование количественных показателей потенциальной токсичности руд позволяет экспрессно оценить экологическое состояние объекта и внести число и меру в общую эколого-экономическую оценку месторождений полезных ископаемых.

## 2.2. Методические основы и принципы комплексной геоэкологической оценки рудных месторождений по вещественному составу

### 2.2.1. Геоэкологическая модель рудного месторождения

На рудных месторождениях разных геолого-генетических групп выявляется часто близкий набор токсичных элементов. Однако различные геолого-структурная позиция и рудно-формационная принадлежность месторождений определяют разные уровни содержаний и разные формы концентраций токсикантов и, следовательно, разную степень их потенциальной экологической опасности. Геоэкологическая оценка рудных месторождений по их вещественному составу должна реализоваться на базе их геоэкологической типизации, основой которой может служить принципиальная геоэкологическая модель рудного месторождения (табл. 2).

Геоэкологическая модель рудного месторождения представляет собой экосистему, включающую несколько взаимозависимых и взаимосвязанных между собой **депонирующих и транспортирующих сред** [10, 11].

Основные **депонирующие** среды группируются в три определяющих экологическое состояние геологической среды блока:

1. **Собственно рудная залежь (тело)** в коренном залегании. Этот блок включает рудную залежь (тело) и околорудно-измененные породы (первичный ореол).
2. **Рудная залежь – зона окисления.** Этот блок наиболее важный в экологическом плане из-за фазовых взаимопереходов и взаимопревращений форм нахождения токсичных веществ, определяемых процессами формирования зоны окисления.
3. **Вторичные ореолы в коре выветривания и наложенные ореолы и вторичные аккумуляции** в природных образованиях района месторождения: чехол рыхлых отложений, почвенный покров, древесная и травянистая растительность и т.д.

Принципиальная геоэкологическая модель рудного месторождения (по Р.В.Голевой и Б.Н.Маринову, 1998 г.)



**Транспортирующие среды** представлены подземными и поверхностными водами, в которых формируются экогидрогеохимические ореолы с токсикантами в разных формах и в разном количественном выражении. Среди них наиболее существенными в экологическом отношении составляющими частями являются: рудничные воды, воды зоны окисления, ореольные воды и почвенные растворы.

Оценка экологического состояния геологической среды в сфере влияния рудного месторождения базируется на всестороннем анализе уровней содержания, формах нахождения токсикантов и особенностях их распространения в основных депонирующих и транспортирующих средах. Такая информация лежит в основе геоэкологической типизации рудных месторождений по вещественному составу.

### 2.2.2. Виды токсикантов и индикаторы токсичности рудных месторождений (современное состояние)

По вещественному составу рудные месторождения, являясь природными потенциально токсичными геохимическими аномалиями, сопоставимы с очагами химического загрязнения техногенной природы. Тем не менее, существование экосистемы – “рудное месторождение” – подчиняется своим чисто природным закономерностям, которые определяются свойствами элементов и законами их распространения и миграции в природе. **Виды токсикантов в экосистеме – “рудное месторождение”** – зависят от рудно-формационной принадлежности месторождения и соответственного типа его зоны окисления. Виды токсикантов представлены токсичными элементами и токсичными и токсикантсодержащими минеральными фазами, входящими в состав руд месторождения и основных депонирующих и транспортирующих сред этой природной экосистемы.

Обоснование индикаторов токсичности – основе геоэкологической типизации рудных месторождений – на данном этапе вызывает определенные затруднения. **Индикаторы – это показатели, которые связаны с динамикой развития и целостности экосистемы.** Система индикаторов, которую можно было бы использовать как основание для создания геоэкологической типизации рудных месторождений в настоящее время еще не создана из-за отсутствия достаточных научно обоснованных и статистически обработанных данных.

В рамках Комиссии по геоэкологии Международного союза геологических наук в июле 1992 года организована рабочая группа по геоиндикаторам экологического состояния окружающей среды. Цель этой группы – определить международный перечень геоиндикаторов благоприятного состояния и целостности природных сред (окружающей среды) и разработать существенные и надежные способы измерения актуальных экологических изменений для успешного их использования. В качестве индикаторов природных и природно-техногенных процессов, влияющих на экологическое состояние окружающей среды, рассматриваются как качественные, так и количественные параметры, определяющие и характеризующие режим их функционирования. Уже выработаны некоторые рекомендации. При поиске индикаторов следует учитывать фактор масштабности, сравнительности, универсальности, возможность измерения, обеспечения количественной оценки и изменения во времени для осуществления мониторинга, а также надежность, экономичность и экспрессность выявления. По возможности, индикаторы должны быть ранжированы по значимости (приоритетности) [3]. **Под индикатором понимается показатель неблагоприятия наблюдаемой геоэкологической системы.** Д.К.Эллиот [31] выделяет 5 основных типов геоэкологических индикаторов: *геохимические, вещественные, физические, пространственные и биологические*. Индикаторы подразделяются на простые и сложные, статические и динамические, природные и антропогенные.

В качестве индикаторов токсичности рудных месторождений могут быть использованы содержания токсикантов как элементов, так и токсичных, и токсикантсодержащих минеральных фаз в твердых и жидких средах, т.е. – *экогеохимические, экоминералогические и экогидрогеохимические индикаторы*.

В рудных месторождениях в составе депонирующих и транспортирующих сред встречаются до 30 токсичных элементов в самых разнообразных формах: в составе токсикантсодержащих минеральных фаз разной степени устойчивости, в сорбированном состоянии и в растворенном состоянии в составе рудничных, ореольных вод и почвенных растворов. В качестве индикаторов наиболее приемлемы фтор, мышьяк, бериллий, кадмий, теллур, селен, а также некоторые легкорастворимые минеральные фазы руд и зоны окисления месторождений (арсенатные, фосфатные урановые слюдки, гипергенные минералы

мышьяка, сульфаты группы мелантерита и др.), а также сорбционные формы нахождения токсикантов, например, бериллия.

Индикаторами токсичности в качестве главной основы геоэкологической типизации могут служить *типоморфные парагенезисы (экоминералогические парагенезисы)* токсичных веществ и соответствующие им *геохимические парагенезисы (экогеохимические спектры)*. Важными индикаторами будут *размеры, морфология и внутреннее строение экогеохимических, экоминералогических и экогидрогеохимических токсичных ореолов* рудных месторождений – *пространственные индикаторы*.

В роли количественных индикаторов могут выступать, как уже было отмечено выше, экогеохимичность, экоминералогичность рудного месторождения (раздел 2.1), средние содержания отдельных токсичных элементов, кларки их концентрации ( $КК = C_p / C_{сл}$ , где  $C_p$  – среднее содержание в руде, а  $C_{сл}$  – среднее содержание в литосфере или в земной коре), а также показатель потенциальной токсичности (ППТ):

$$ППТ = \frac{C_p}{C_{фон}} \quad \text{или} \quad ППТ = \frac{C_p}{ПДК} ,$$

где  $C_p$  – среднее содержание токсиканта в руде,

$C_{фон}$  – фоновое содержание данного элемента в районе месторождения,

**ПДК** – предельно допустимая концентрация.

Можно использовать совокупный (суммарный) показатель потенциальной токсичности рудного месторождения в целом - **Z<sub>р.м.</sub>**, который рассчитывается по формуле:

$$Z_{р.м.} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i \cdot W_i}{n} ,$$

где  $n$  - число факторов (видов токсикантов или индикаторов токсичности), участвующих в интегральной оценке;  $B_i$  – экспертная оценка опасности  $i$ -фактора (класс токсичности, заболевания, которое он вызывает);  $W_i$  – весовая оценка опасности  $i$ -го фактора (уровень содержания, по сравнению с нормируемыми показателями).

Эту формулу можно усовершенствовать, включив в нее еще 2 показателя:  $\Phi_i$  – форма нахождения токсиканта (труднорастворимая, слаборастворимая и миграционно-способная) и  $P_i$  – доля токсиканта в объеме месторождения. Тогда формула будет выглядеть следующим образом:

$$Z_{p.m.} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i \cdot W_i \cdot \Phi_i \cdot P_i}{n}$$

В качестве индикаторов могут быть приняты элементы с высоким коэффициентом биологического поглощения  $A_x$ , который отражает способность растений избирательно поглощать и накапливать элементы, в том числе, токсичные. Коэффициент  $A_x$  показывает во сколько раз содержание элемента  $X$  в золе растений больше, чем в литосфере в целом (или в конкретной горной породе или почве, на которых растет данное растение). На анализе величины  $A_x$  построены ряды биологического поглощения элементов: энергичное поглощение  $100 \cdot n$ ;  $n$  (Sr, Zn, As, Mo, F), среднее  $n$ ;  $0, n$  (Cu, Hg), слабое  $0,0n$  (Sb, Pb) и очень слабое  $0,00n$  (Nb, W). Опираясь на величины коэффициента биологического поглощения при выборе индикаторов токсичности, следует обратить внимание на стронций, цинк, мышьяк, молибден и фтор, которые присутствуют на многих рудных месторождениях и отличаются сильным биологическим поглощением.

Перечень индикаторов не может быть завершенным. Он всегда открыт, так как набор индикаторов может изменяться со временем в соответствии с новыми данными, более углубленным изучением оцениваемого объекта и совершенствованием технических средств и аналитических методик.

### 2.3. Методика оценки экологического состояния геологической среды на основе вещественного состава рудных месторождений

Методика оценки экологического состояния геологической среды на основе вещественного состава рудных месторождений базируется на понимании того, что рудное месторождение представляет собой

природную потенциально токсичную геохимическую аномалию (*гео-экологическая модель рудного месторождения*), состоящую из реальных депонирующих и транспортирующих сред (раздел 2.2.1)[[10, 11]. На основании анализа содержаний, форм концентрации и распространения токсикантов в пределах этой природной аномалии может быть получена наиболее полная характеристика потенциальной токсичности объекта. Методика оценки экологического состояния геологической среды на основе вещественного состава рудных месторождений предусматривает осуществлять эту оценку по этапам и стадиям (табл. 3).

На первом этапе осуществляется *выявление спектра* токсичных элементов: экогеохимический спектр для основных депонирующих и экогидрогеохимический спектр для транспортирующих сред экосистемы “рудное месторождение”: для руд, зоны окисления, вмещающих коренных пород, пород перекрывающего рыхлого чехла, донных осадков близлежащих водоемов, почв, растительности, подземных и поверхностных вод.

Производится соотнесение реальных концентраций токсикантов с действующими нормативными показателями или региональными фоновыми значениями.

На втором этапе производится *определение форм нахождения* токсикантов: выявление их в основных депонирующих и транспортирующих средах и оценка степени их экологической опасности (токсичности) в качественном и количественном выражении.

На третьем этапе осуществляется *выявление путей миграции* токсикантов в пределах экосистемы “рудное месторождение” путем анализа фазовых взаимопревращений форм нахождения токсикантов при переходе из одной депонирующей среды в другую и в транспортирующие среды.

На четвертом этапе определяются *размеры токсичной аномалии*, созданной рудным месторождением, анализируется ее *морфология* и прогнозируется возможный *объем токсикантов*, которые будут поступать в окружающую природную среду при вскрытии и освоении месторождения.

На пятом этапе выполняется *оценка потенциальной токсичности рудного месторождения в целом*, которая базируется на ГЭр – геоэкологичности рудного месторождения и на суммарном (совокупном) количественном показателе потенциальной общей токсичности – **Зр.м.** (сумма **ППТ** отдельных депонирующих и транспортирующих

Таблица 3

Методика оценки рудного месторождения по неорганическим видам токсикантов и индикаторам токсичности для определения геоэкологического типа рудного месторождения

Этапы 1	Стадии 2	Основная задача 3	Методы решения 4	Результирующие данные 5
<p><b>I этап</b> Выявление набора экологических опасных элементов (<i>экогеохимический спектр</i>)</p>	<p><b>I стадия</b> Характеристика фоновых содержаний токсичных элементов в районе месторождения</p> <p><b>2 стадия</b> Выявление спектра токсичных элементов (<i>экогеохимический спектр</i>)</p>	<p>Определение фоновых содержаний токсичных элементов в коренных вмещающих породах и породах рыхлого чехла, а также в донных осадках близлежащих водоемов, почвенном и растительном покрове</p> <p>Выявление экогеохимического спектра токсичных элементов в составе:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- руд,</li> <li>- зоны окисления,</li> <li>- первичном и вторичном ореолах,</li> <li>- наложенных аккумуляциях в перекрывающем рыхлом чехле, донных осадках, взвесьях близлежащих водоемов, почвах и растительном покрове,</li> <li>- подземных и поверхностных водах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Спектральный анализ с вдуванием проб в четырехполосную дугу (определяет 44 элемента по V категории точности с пределом обнаружения 0,0001-0,1%, инструкция НСАМ № 227с.</li> <li>- Спектральный анализ: испарение из кратера (определяет 44 элемента по V категории точности с пределом обнаружения 0,0001-0,п%), инструкция НСАМ МП-19с.</li> <li>- Многокомпонентный эмиссионный спектральный анализ на установке "Полус-4" (определяет биологически активные токсичные элементы: Be, V, Bi, W, Cd, Co, Mn, Cu, Mo, As, Ni, Nb, Sn, Pb и Ag по III категории точности с чувствительностью 0,1 г/т и выше, инструкция НСАМ-268с, разработан в ВИМСе.</li> <li>- Рентгеноспектральный анализ на установках АРФ-6 и СРМ-25 (определяют U, Th, Se, Sn, Co, W, Bi, V, Cu, Mo, As, Ni, Nb, Sr, Pb, Zn, Zr по III категории точности с пределом обнаружения 0,0005% и выше, инструкции НСАМ: 81рс, 181рс, 205рс, 212рс, 214рс, 243рс, 244рс, 304рс, 308рс, 420рс, 451рс, 455рс).</li> <li>Масс-спектральный анализ с индуктивно-связанной плазмой (JCP-MS), атомно-эмиссионный с индуктивно-связанной плазмой (JCP-AES) на &gt; 60 элементов</li> <li>- Рентгенофлуоресцентный анализ с помощью анализаторов серии X-MET-880, 940</li> </ul>	<p>Получены характеристики состава и фоновых содержаний основных видов неорганических токсикантов для района месторождения</p> <p>Получены данные о спектре токсичных элементов и их содержаниях в природной аномалии, создаваемой рудным месторождением</p>

1	2	3	4	5
			<p>(рекомендуются финской фирмой "Оутокумпу Инструментс" (производство фирмы METOREX) и СКС-06П-Р1 (российская разработка) – определяют во всех средах элементы от Al до U с чувствительностью в зависимости от элемента от 0,01 до 0,00001%.</p> <p>- Атомно-адсорбционный, атомно-эмиссионный анализы и др. используются как дополнительные методы в случае наличия аппаратуры.</p>	
	<p><b>3 стадия</b> Соотнесение реальных концентраций токсикантов с действующими нормативными показателями или региональными фоновыми содержаниями</p>	<p>Определение уровней превышения содержаний неорганических токсикантов (ППТ – показатель потенциальной токсичности) по сравнению с действующими нормативными показателями (ПДК) или региональным фоном</p>	<p>Традиционными математическими методами по формуле <math>ППТ = \sum Si/ПДКи</math>, или <math>ППТ = \sum Si/фон_i</math>, где С – содержание токсиканта, i – токсикант</p>	<p>Получены количественные данные о токсичности элементов в депонирующих и транспортирующих средах месторождения (ППТ – показатель потенциальной токсичности)</p>
<p><b>II этап</b> Определение форм нахождения токсикантов</p>	<p><b>I стадия</b> Выявление основных форм нахождения неорганических токсикантов</p>	<p>Определение основных форм нахождения токсикантов в:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рудах,</li> <li>- зоне окисления,</li> <li>- первичном и вторичном ореолах,</li> <li>- наложенных ореолах и аккумуляциях в рыхлом чехле, донных осадках и взвешях водоемов, почвенном и растительном покрове, загрязненных токсикантами,</li> <li>- в подземных и поверхностных водах.</li> </ul>	<p>Рациональным комплексом методов минерало-геохимического анализа, включающего РФА, ДТА, ИКС, ЯГР-спектроскопию, магнитометрию, оптические методы, электронную микроскопию с микродифракцией и электроннозондовый анализ с энергодисперсией и др. (Методические рекомендации НСОММИ № 117, 1997 год) [9], выявляются и диагностируются твердофазные формы токсикантов и токсикантсодержащих соединений. Комплексом методов выявляются и диагностируются токсичные формы в водных средах.</p>	<p>Получены данные о формах нахождения токсикантов в <b>твердых средах</b>:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- собственные минералы,</li> <li>- изоморфные включения,</li> <li>- сорбция,</li> <li>- в связи с органическим веществом, гидрооксидами и оксидами железа, марганца и алюминия, карбонатами, алюмосиликатами, в виде металлоорганических соединений и т.д.</li> <li>- в <b>водных средах</b>.</li> </ul>

1	2	3	4	5
<p><b>III этап</b> Выявление путей миграции токсикантов в пределах экосистемы</p>	<p><b>2 стадия</b> Оценка степени экологической опасности форм нахождения токсикантов</p> <p><b>1 стадия</b> Воссоздание экосистемы "рудное месторождение" в целом по составу, содержаниям и формам нахождения неорганических токсикантов во всех депонирующих и транспортирующих средах</p>	<p>Оценить реальную экологическую опасность конкретных твердофазных и водорастворимых форм нахождения токсикантов в качественном и количественном выражении</p> <p>Проанализировать смену экогеохимических и экоминералогических парагенезисов от одной депонирующей среды к другой и к транспортирующим средам (экогидрогеохимические парагенезисы)</p>	<p>Качественно и количественно оценить степени экологической опасности твердофазных и водорастворимых форм нахождения токсикантов можно на основе известных данных об их свойствах (устойчивости, растворимости и т.д.). Для количественной оценки экологической опасности минералов в общем объеме токсичной аномалии можно использовать индекс ГЭм (см. раздел 2.1), который рассчитывается по формуле</p> $ГЭм = (1/Y) \sum_{i=1}^n Tл_i = Tл_1 + \dots + Tл_n$ <p>где Y – показатель устойчивости минерала (химическая, механическая и гидроэрозионная). Y имеет 3 градации: высокая (Y=10), средняя (Y=5) и низкая (Y=1). Tл – литотоксичность элемента, входящего в минерал, n – число потенциально токсичных элементов.</p> <p>Методами сопоставительного анализа при смене экогеохимических, экоминералогических и экогидрогеохимических парагенезисов и форм нахождения токсикантов при переходе от одной среды к другой</p>	<p>Оценена реальная экологическая опасность твердофазных и водорастворимых форм нахождения токсикантов в рудном месторождении.</p> <p><b>Примечание.</b> При отсутствии сведений об устойчивости и растворимости токсичных и токсикантсодержащих минеральных фаз могут быть организованы моделирующие лабораторные эксперименты.</p> <p>Получены данные о фазовых взаимопревращениях токсичных и токсикантсодержащих соединений для выводов о токсичности природной токсичной аномалии в целом и определения узлов экосистемы, где возможно высвобождение (перевод в миграционную форму) токсиканта</p>

1	2	3	4	5
<p><b>IV этап</b> Определение размеров и морфологии токсичной аномалии рудного месторождения</p> <p><b>V этап</b> Оценка токсичности рудного месторождения</p>	<p><b>I стадия</b> Оценка токсичности рудного месторождения на количественной основе</p>	<p>Прогнозирование возможных объемов токсикантов, могущих поступить в природную окружающую среду при освоении месторождения</p> <p>1.1. Получение суммарного количественного показателя - коэффициента общей токсичности рудного месторождения для более точного отнесения его к определенному геоэкологическому типу.</p> <p>1.2. Определение объема токсикантов, которые попадут в окружающую природную среду при вскрытии и отработке месторождения.</p> <p>1.3. Корректировка объемов токсикантов за счет вычитания экологически безопасных минеральных форм.</p>	<p>Составление карт содержаний токсикантов в концентрациях, соотношенных с ПДК и др. нормативными показателями по основным депонирующим и транспортирующим средам (<i>посредные</i> экогеохимические и экоминералогические и экогидрогеохимические карты)</p> <p>На основе совокупной формулы:</p> $Zp.m. = \sum_{i=1}^n \frac{Ci_p + Ci_{30} + Ci_n + Ci_b}{\text{ПДК}_{\text{фон}}} + \frac{Ci_{\text{пч}}}{\text{ПДК}_{\text{пч}}} + \frac{Ci_{\text{вр}}}{\text{ПДК}_{\text{вр}}}$ <p>где Zp.m. – количественный показатель общей токсичности рудного месторождения, где Ci – среднее содержание токсиканта i в основных депонирующих и транспортирующих средах и соответствующие ПДК (или фоны для основных сред) (см.<sup>1)</sup>Примечание 1)</p> <p>Используются для решения этой задачи традиционные методы подсчета запасов для вычисления Pp.m. (см.<sup>2)</sup>Примечание 2)</p>	<p>Построены ореолы превышающих нормативные или фоновые показатели содержаний токсикантов во всех депонирующих и транспортирующих средах месторождения.</p> <p>Получена в количественном выражении (Zp.m.) потенциальная токсичность аномалии рудного месторождения в целом. Zp.m. равен сумме ППТ всех депонирующих и транспортирующих сред.</p> <p>Получены в числовом выражении объемы (Pp.m.) токсичных веществ, высвобождающиеся при вскрытии и отработке месторождения.</p>

<sup>1)</sup> Примечание 1. Содержания токсиканта:  $Ci_p$  – в руде;  $Ci_{30}$  – в зоне окисления;  $Ci_b$  – в первичном ореоле;  $Ci_n$  – во вторичном и наложенном ореолах;  $Ci_{\text{пч}}$  и  $Ci_{\text{вр}}$  – в почве и гидрогеохимическом ореоле.

<sup>2)</sup> Примечание 2. Pp.m. – объем токсичных веществ, которые попадут в окружающую среду при вскрытии и отработке месторождения.

1	2	3	4	5
	<p><b>2 стадия</b> Обоснование индикаторов токсичности<sup>xxxx</sup></p> <p><b>3 стадия</b> Отнесение рудного месторождения к определенному геоэкологическому типу</p>	<p>Обосновать индикаторы токсичности: - <i>качественные</i>, выбор которых основывается на принципах: - наибольшей токсичности вещества (элемента), - наибольшей распространенности, - наибольшей миграционной способности, - экспрессности и экономичности выявления; - <i>количественные</i>, которые сводятся к значениям показателя Zp.m., а также к показателям экогеохимичности и экоминералогичности (см. раздел 2.1) и объемам неорганических токсикантов в пределах месторождения (Pp.m.)</p> <p>Определить, к какому геоэкологическому типу относится данное рудное месторождение</p>	<p>Обоснование индикаторов осуществляется на основе анализа полученных данных путем экспертных оценок</p> <p>На основании качественных и количественных индикаторов токсичности рудное месторождение относится к определенному геоэкологическому типу путем экспертной оценки</p>	<p>Обоснованы качественные и количественные индикаторы токсичности, которые нужно рекомендовать для отнесения месторождения к тому или иному геоэкологическому типу и использовать для контроля за состоянием геологической среды на основе мониторинга при освоении и отработке месторождения</p> <p>Рудное месторождение будет отнесено к конкретному геоэкологическому типу</p>

<sup>xxxx</sup> Примечание 3. Набор индикаторов токсичности открыт и постоянно пополняется.

<p><b>VI этап</b> Разработка системы природоохранных, социально-экономических и медико-биологических мероприятий</p>		<p>На основе отнесения месторождения к определенному геоэкологическому типу разработка системы природоохранных мероприятий для эффективного решения технико-экономических, социально-экономических, санитарно-гигиенических и медико-биологических проблем</p>	<p>Система разрабатывается с учетом геоэкологического типа месторождения, местных условий и финансовых возможностей и согласуется с природоохранными органами Министерства природных ресурсов РФ и соответствующими органами Минздрава России</p>	<p>Создана система природоохранных технико-экономических, социально-экономических, медико-биологических и санитарно-гигиенических мероприятий для снижения экологического риска и ущерба на всех стадиях освоения месторождения и, прежде всего, для здоровья горногеологического персонала и населения, проживающего на территории влияния горнорудного предприятия</p>
--	--	--	---	--

сред) и подсчитанном объеме токсикантов на основе составленных *посредных*\* экогеохимических (а для их интерпретации и экоминералогических) и экогидрогеохимических карт. На этом этапе для каждого геозекологического типа обосновываются индикаторы токсичности и принимается решение, к какому геозекологическому типу следует отнести данное месторождение.

На шестом этапе – на основе отнесения оцениваемого месторождения к определенному геозекологическому типу *разрабатывается система природоохранных и медико-гигиенических мероприятий* (технико-экономических, социально-экологических, санитарно-гигиенических и медико-биологических).

В рамках отдельных этапов выполняется несколько стадий.

### 3. ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ЭТАЛОННЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ПРИМЕРЫ ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПО ВИДАМ И ИНДИКАТОРАМ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТОКСИЧНОСТИ

В настоящее время для большинства рудных месторождений отсутствует необходимый объем информации о содержаниях и формах нахождения токсикантов в основных депонирующих и транспортирующих средах. Определены лишь некоторые вещественные индикаторы токсичности (экогеохимические, экоминералогические и экогидрогеохимические). Неза разработана целостная *система* качественных и количественных индикаторов, которая могла бы служить надежной основой для геозекологической типизации рудных месторождений по видам и индикаторам потенциальной токсичности. Тем не менее, опираясь на материалы по эталонным рудным месторождениям, можно предложить предварительный вариант геозекологической типизации рудных месторождений по вещественному составу (табл. 4).

---

\* *Посредные* карты – это карты распределения токсикантов по отдельным *депонирующим* (горные породы, руды, зона окисления, кора выветривания, перекрывающая рыхлый чехол, почвы, растительность) и *транспортирующим* (подземные и поверхностные воды) средам.

*Геоэкологическая типизация эталонных рудных месторождений по вещественному составу*

Геоэкологический тип		Примеры месторождений
Индекс	Название	
А	Сульфидные месторождения с хорошо развитым профилем зоны окисления	Колчеданные месторождения Урала и Рудного Алтая
	А <sub>1</sub> Сульфидные месторождения суши с сульфатно-карбонатным профилем зоны окисления	
	А <sub>2</sub> Сульфидные месторождения дна Мирового океана с хлоридно-сульфатным профилем зоны окисления	Сульфидные залежи дна Мирового океана (Восточно-Тихоокеанское поднятие, Срединно-Атлантический хребет)
Б	Малосульфидные месторождения с редуцированным профилем зоны окисления	Оловорудное месторождение Сырымбет (Сев. Казахстан)
В	Сульфидно-арсенидные месторождения с мышьяксо-державшим профилем зоны окисления	Кобальтовое месторождение Ховуаксы. Уран-арсенидное месторождение Приморское (Минусинские впадины).
Г	Бессульфидные месторождения с практическим отсутствием зоны окисления	Тантал-ниобиевые месторождения Ю.В. Тувы (Улуг-Танзекское), В. Саяна (Зашихинское) и Забайкалья (Катугинское). Редкометалльно-флюоритовые месторождения Южного Приморья (Вознесенский рудный район) и Бурятии (Ермаковское месторождение)
Д	Урановые месторождения	Уран-сульфидные и уран-молибденовые месторожде-
	Д <sub>1</sub> Сульфидсодержащие	

Д <sub>2</sub>	Бессульфидные	ния Забайкалья (Стрельцовское рудное поле) и Сев. Казахстана Собственно урановые месторождения (Кировоградский рудный район Украины)
Д <sub>3</sub>	Битумсодержащие	Уран-битумный тип (Репьевское месторождение, Среднее Поволжье)
Д <sub>4</sub>	Мышьяксодержащий, соответствует типу В	Уран-арсенидный тип (месторождение Приморское, Минусинские впадины)

Как следует из таблицы 4, в качестве эталонных объектов выбраны две геолого-генетические группы рудных месторождений, имеющих промышленное значение.

*Первая группа (тип А)* включает месторождения, сформированные в океанических рифтогенных зонах: колчеданные – поставщики медных, свинцово-цинковых и золотых руд с целым набором токсичных элементов: цинк, медь, свинец, мышьяк, кобальт, висмут, кадмий, олово, таллий, селен, молибден, ртуть.

*Вторая группа (типы Б – Д)* – месторождения сформированные в областях континентальной тектоно-магматической активизации, т.е. в условиях континентального рифтогенеза. Это месторождения тантала и ниобия, бериллия, олова и урана, которые также содержат разнообразные токсичные элементы: бериллий, стронций, мышьяк, кадмий, уран, олово, молибден, вольфрам, висмут, фтор, кобальт, никель и др.

На месторождениях этих групп выявлен близкий набор токсичных элементов, но различные геолого-структурные позиции и формационная принадлежность определяют разные формы концентрации токсикантов и, следовательно, разную степень их экологической опасности.

Большинство токсичных элементов, безусловно, сосредоточено в рудах и зонах их окисления. Однако, экологическую опасность могут представлять и небольшие содержания токсикантов в других депонирующих средах: первичном ореоле в коренных породах, в коре выветривания (вторичный ореол), в перекрывающих рыхлых отложениях (наложенные ореолы и вторичные аккумуляции), в почвенном и растительном покрове. Экологически существенна та часть токсикантов, которая мигрирует в транспортирующих средах. Это ореолы токси-

кантов в рудничных водах и водах зоны окисления в водах первичных и вторичных ореолов, водоносных горизонтах в перекрывающих руды породах, почвенных растворах и поверхностных водах на площадях влияния месторождения.

Ниже приведены основные характеристики выделенных геоэкологических типов рудных месторождений обеих групп.

**Тип А. Сульфидные месторождения с хорошо развитым профилем окисления.** Примерами таких месторождений являются колчеданные и полиметаллические месторождения Урала, Рудного Алтая и сульфидные залежи дна Мирового океана, которые различаются только профилем своих зон окисления: сульфатно-карбонатная – для месторождений суши и сульфатно-хлоридная – для колчеданных залежей дна Мирового океана. Для этих месторождений характерен очень сложный экогеохимический спектр, включающий супертоксичные (Hg, Cd, Tl), токсичные 1 класса (Pb, Se, Te, As, Sb) и 2 и 3 класса (Cu, Zn, S, Bi, Ba) – токсичные элементы. По коэффициенту концентраций в рудах эти элементы располагаются в следующий ряд: Te (29000); Bi (5777); Se (1044); Cd (924); S (711); As (415); Cu (404); Zn (237), а по показателю потенциальной токсичности (ППТ) по воде и воздуху для них характерны следующие ряды: ППТ (вода) – Zn (1970); Cu (1900); Fe (573); ППТ (воздух) – S (11137); Pb (4143); Fe (286); Hg (33). В рудах месторождений токсиканты входят в состав сульфидов и сульфосолей Te, Zn, Cu, Pb и более, чем 60 второстепенных минералов, в составе которых присутствуют As, Co, Sb, Cd, Bi, Se, Tl, Te, Hg. На этих месторождениях возникают агрессивные рудничные воды и воды зоны окисления с общей минерализацией 2000 – 95000 мг/л и высокими содержаниями токсикантов Cu, Zn, Pb, Cd, Co, As. Индикаторами токсичности этого геоэкологического типа месторождений могут являться супертоксичные элементы Hg, Cd, Tl и элементы с наибольшими показателями потенциальной токсичности ППТ (Fe, S, Zn, Cu, Pb), а в качестве минералогических индикаторов – водные сульфаты, арсенаты и хлориды (табл. 5).

**Тип Б. Малосульфидные месторождения с редуцированным профилем зоны окисления.** Примером этого геоэкологического типа может служить оловорудное месторождение Сырымбет в Сев. Казахстане, которое характеризуется комплексным составом руд и значительным набором токсичных элементов, содержание которых значительно превышает ПДК (для почв): F, Be, As, Bi, Cu, Zn, Pb, Mo, Sr, Hg

(табл. 6). Большинство из них обнаруживают превышение над ПДК в нескольких совмещенных депонирующих средах: рудах, первичном и вторичном ореолах, наложенных аккумуляциях в перекрывающем рыхлом чехле и в почвенном покрове. Загрязнение также отмечено в травянистой и древесной растительности и только в поверхностных водах значительно превышает ПДК лишь Sr. Геохимическими индикаторами для этого типа рудных месторождений могут служить Sr в экогидрогеохимических ореолах, Be, F, Cu, Zn, Pb – в почвенном и Zn и Pb – в растительном покрове, а также F, Be, As, Bi, Cu, Zn, Pb во вмещающих породах (экогеохимические ореолы). Очень опасна сорбционная форма концентрации бериллия.

**Тип В. Сульфидно-арсенидные месторождения с мышьяксодержащим профилем зоны окисления.** Классическим примером этого геоэкологического типа рудных месторождений является кобальтовое месторождение Ховуаксы [30]. Однако, оно не входило в состав эталонных объектов и здесь не рассматривается.

В качестве эталонного объекта выступает Приморское месторождение в Сыдо-Ербинской впадине Алтае-Саянской складчатой области (табл. 7). Это стратиформное гидротермальное месторождение с широким спектром элементов-спутников, из которых четко выделяется группа токсичных элементов. Экогеохимический спектр состоит из супертоксикантов: U (КК – 800) и Tl (КК – 100), токсикантов I класса опасности As (КК – 6000); Cr (КК – 33); Pb (КК – 31); Ni (КК – 8); Th (КК – 2) и токсикантов II класса опасности Mo (КК – 3000), Cu (КК – 33) и Zn (КК – 9). Основные формы концентрации токсикантов – окислы и силикаты урана, Pb самородный, лёллингит, сульфиды Fe и Mo (иордизит). Экологически опасным является пропитанное урановыми и мышьяковистыми минералами органическое вещество (битумы типа низшего керита). Зона окисления хорошо развита и характеризуется преобладающим развитием мышьяковистых урановых минералов. Рудничные воды сульфатно-гидрокарбонатные с аномальными содержаниями Mo, As, F, P.

Геоэкологическими индикаторами для этого типа рудных месторождений могут служить содержания урана, мышьяка, молибдена и повышенные содержания этих элементов в транспортирующих средах, а также вторичные минералы урана, мышьяка и ванадия и урансодержащий керит.

Таблица 5

Виды токсикантов и индикаторы токсичности сульфидных месторождений с хорошо развитой зоной окисления  
(Геозкологический тип А)

ЭКОГЕОХИМИЯ							
Виды токси- кантов	Класс опас- ности	С в рудах % [19]	КК коэффициент концентраций [12]	Показатель <sup>*)</sup> потенциальной токсичности ППТ (вода) [12]	Показатель <sup>*)</sup> потенциальной токсичности ППТ (воздух) [12]	Количественный показатель общей токсич- ности колчеданных руд [12] n Зр.м.=Σ ППТ <sub>i</sub> i=1	
						Зр.м. (вода) 7	Зр.м. (воздух) 8
1	2	3	4	5	6	4646	15921
Fe	4	28,64	6,2	572	286		
S	2	33,41	710,9	-	11136		
Zn	2	1,97	237,3	1970	39		
Cu	2	1,90	404,3	1900	190		
Ba	2	2,88	43,4	57	57		
Pb	1	0,29	181,2	29	4142		
As	1	0,0705	414,7	14,1	23,5		
Co	2	0,0133	7,2	13,3	0,27		
Sb	1	0,0091	182,0	1,82	0,46		
Cd	СТ <sup>***)</sup>	0,0120	923,1	24,0	1,2		
Te	1	0,0029	29000,0	2,9	2,9		
Bi	2	0,0052	5777,0	0,52	5,2		
Se	1	0,0052	1040,0	52,0	0,52		
Tl	СТ	0,0008	8,0	-	0,8		
Hg	СТ	0,001	120,4	2,0	33,3		

<sup>\*)</sup> Примечание.  $ППТ_{(вода)} = \frac{C_{в\ рудах}}{ПДК_{(вод)}}$ ;  $ППТ_{возд} = \frac{C_{в\ рудах}}{ПДК_{(возд.)}}$

<sup>\*\*\*)</sup> СТ - супертоксичные

ЭКОМИНЕРАЛОГИЯ			ЭКОГИДРОГЕОХИМИЯ				Индикаторы токсичности	Примеры месторождений
Руды	Зона окисления	Первичный ореол [17]	Содержания токсикантов в рудничных водах месторождений Урала [12], мг/л	Формы нахождения токсикантов в транспортирующих средах [18]				
				В рудничных водах	В ореольных водах	За пределами рудного поля		
9	10	11	12	13	14	15	16	17
Сульфиды и сульфосоли основных элементов Fe, Zn, Cu, Pb и второстепенные минералы с As, Co, Sb, Cd, Bi, Se, Tl, Te, Hg (> 60)	Сульфиды Fe, Cu, Ag зоны вторичного обогащения и сульфаты, карбонаты, оксиды и гидроксиды Fe, Cu, Zn, Pb, Mn, арсенаты, хлориды, фосфаты зоны окисления	Сульфиды Cu, Pb, Zn, Co, Ag, As, Bi, силикаты с Zn, Co, Ni, Cd, V, Pb	(pH – от 0,7 до 7,0) Общая минерализация от 2348 до 95800 мг/л. Fe <sup>2+</sup> до 19923, Cu <sup>2+</sup> до 1120, Zn до 3463, Pb <sup>2+</sup> до 0,004-0,1, Cd <sup>2+</sup> 0,59 (не везде), Co <sup>2+</sup> 0,002-0,08 (не везде), As - 0,0007-0,09, Cl <sup>-</sup> - 242-958 (не везде)	Zn(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2-</sup> , Zn <sup>2+</sup> ; ZnSO <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cu <sup>2+</sup> ; CuSO <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cu(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2-</sup> , Pb(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2-</sup> , Pb <sup>2+</sup> ; PbSO <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Fe <sup>2+</sup> ; FeSO <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2-</sup> , Fe(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2-</sup> , FeSO <sub>4</sub> <sup>+</sup> ; Co <sup>2+</sup> , CoSO <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Co(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2-</sup> , H <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub> <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Zn(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2-</sup> , Zn <sup>2+</sup> ; ZnSO <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Cu; CuSO <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CuHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup> , PbSO <sub>4</sub> <sup>+</sup> ; Pb <sup>2+</sup> , Pb(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2-</sup> , Fe <sup>2+</sup> ; FeSO <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Fe(OH) <sub>3</sub> <sup>+</sup> , Co <sup>2+</sup> ; CoSO <sub>4</sub> <sup>+</sup> (-), H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , H <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Zn <sup>2+</sup> , ZnHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup> , CuHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup> , CuCO <sub>3</sub> <sup>+</sup> , Cu <sup>2+</sup> ; Pb <sup>2+</sup> , Fe <sup>2+</sup> , FeHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup> , Fe(OH) <sub>3</sub> <sup>+</sup> , Co <sup>2+</sup> ; AsO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Супертоксичные элементы Hg, Cd, Tl Элементы I класса опасности: Se, Te, As, Sb, Pb Элементы II класса опасности: S, Zn, Cu, Ba, Bi (содержания и формы) в экогеохимических и экогидрогеохимических ореолах Токсичные легкорастворимые минералы зоны окисления (сульфаты, водные сульфаты, хлориды)	Колчеданные месторождения Урала и Рудного Алтая. Сульфидные залежи дна Мирового океана.

Таблица 6

Виды токсикантов и индикаторы токсичности малосульфидных месторождений с редуцированным профилем зоны окисления  
(Геоэкологический тип Б)

[8]

Виды токсикантов	Класс опасности	ЭКОГЕОХИМИЯ						ЭКОГИДРОГЕОХИМИЯ		
		Содержание в рудах Ср%	Содержание в первичном ореоле Сп%	Содержание во вторичном ореоле Св%	Содержание в наложенных аккумуляциях		Содержание в почвенном покрове Спч%	Содержание в транспортирующих средах Сид%	Содержание в древесной растительности (березы)	
					Сп%	мг/кг			С %	м/кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
F	1	>> ПДК	>> ПДК	0,11-4,1	н/д	-	> ПДК	Все токсиканты Cu, Zn, As, Pb, Ba, Cd, Be ниже ПДК, кроме Sr, который в десятки раз превышает ПДК Sr >> ПДК Состав вод HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub> - Ca Минерализация 0,74 г/л HCO <sub>3</sub> - Ca Минерализация 0,95 г/л	Zn - 0,3 Pb - 0,015	3000 150
Be	1	0,8	0,1	0,п	н/д	-	0,0006			
As	1	4,0	4,0	н/д	0,03	300	-			
Bi	2	1,0	1,0	0,п	0,1	1000	-			
Cu	2	0,8	0,3	0,п	н/д	-	0,007			
Zn	2	0,5	0,3	0,п	0,14	140	0,01			
Pb	1	4,0	4,0	0,0п	0,14	140	0,002			
Sn	3	12,0	0,1	н/д	н/д	-	-			
W	3	1,0,10	0,1	н/д	н/д	-	-			
Nb	3	0,1	0,1	н/д	н/д	-	-			
Mo	2	0,1	0,1	>> ПДК	0,01	100	-			
Sr	1	0,02	0,01	-	-	-	-			

Продолжение таблицы 6

Ах коэффициент биологического поглощения	ЭКОМИНЕРАЛОГИЯ		Индикаторы токсичности	Примеры месторождений
	Руды	Зона окисления		
12	13	14	15	16
F сильный Cu средний Zn сильный Sn слабый Sr сильный	Сульфиды и арсениды Cu, Zn, As, Pb Минералы Be (берилл, даналит), Bi самородный Минералы F (флюорит, селлит)	Высокодисперсные фазы Be, Минералы As (скородит), U (коффинит, настуран), Bi, Pb – самородные Гидрооксиды Fe и Mn с сорбированными токсикантами	Sr в экогидрогеохимическом ореоле, Fe, Be, As, Bi, Pb, Cu, Zn в первичном, вторичном и наложенных ореолах. Bi, F, Cu, Zn, Pb в почвенном покрове. Zn, Pb в растительности. Высокодисперсные фазы Be (доля растворимых форм Be – к их валовому содержанию 70,5%). Легкорастворимые минералы As	Оловорудное месторождение Сырымбет в Сев. Казахстане

Таблица 7

Виды токсикантов и индикаторы токсичности сульфидно-арсенидных месторождений с мышьяксодежающим профилем зоны окисления  
(Геоэкологический тип В)  
(по данным Р.В.Голевой и Б.Н.Марина)

Геохимический спектр руд	ЭКОГЕОХИМИЯ					ЭКОМИНЕРАЛОГИЯ		ЭКОГИДРОГЕОХИМИЯ	Индикаторы токсичности	Примеры месторождений
	Виды токсикантов (экогеохимический спектр)	Класс опасности	Содержание в руде Ср%	Коэффициент концентрации КК=Ср/ПДК или Ср/фон	Общая токсичность $\sum_{i=1}^n X_i$	Руды	Зона окисления	Рудничные воды		
U Th As Cu Zn Pb Co Ni Mo Ti Cr Mn Sr P Li Ti V Ba	U Th Cu Pb Zn As Mo Ni Ti Cr	1 1 1 2 2 1 2 2 2 1	2-10 0,01 0,015 0,08 0,003-0,02 0,06-3,0 0,003-0,4 0,003 0,0003 н/д	800 2,3 33 31,2 8,7 6000 3000 7,5 100 н/д	10015	Силикаты и окислы урана (коффинит, настуран). Уран-титано-силикатные формы. Сульфиды Fe (пирит, марказит). Органическое вещество в сратах с урановыми и мышьяковыми минералами	Хорошо развита, преобладают арсенаты, диагностические уранофан, складов скит, ураноспирит, метановачекит	Сульфатно-гидрокарбонатные Na и Na-Mg воды. Минерализация 1,0-3,0 г/л, рН - 7,0-8,7, Eh = +180-+400 мВ. Сод. U среднее $2 \cdot 10^{-5}$ г/л - до $9,1 \cdot 10^{-4}$ г/л, при фоновых значениях $6,6 \cdot 10^{-6}$ г/л. Аномальные содержания Mo - 2,5 мг/л, As - 1,1 мг/л, F - 2,5 мг/л, P - 0,8 мг/л. В сухом остатке > ПДК Pb, Zn, Sn, Cu, Ti, V, Cr, Ni, Co, Sb	U, As, Mo, Ti - окисленные низшие кериты с рассеянной вкрапленностью урановых и мышьяковых минералов. Превышение над ПДК в водах и сухом остатке As, Mo, Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Cr	Приморское и Минусинских впадинах Алтас-Саянской области

**Тип Г. Бессульфидные месторождения с практическим отсутствием зоны окисления.** Примерами этих месторождений являются тантал-ниобиевые месторождения в щелочных кварц-альбит-микроклиновых метасоматитах Юго-Восточной Тувы (Улуг-Танзекское), Восточного Саяна (Зашихинское) и Читинской области (Катугинское). Это уникальные и крупные объекты по запасам основного металла – тантала, - содержат группу попутных компонентов: Nb, Zr, U, Th, Y, Li, Rb и криолит. Главные токсичные элементы: уран, торий, фтор, бериллий, свинец и сера. На месторождении они образуют как собственные минеральные формы, так и примеси в редкометалльных и породообразующих минералах. Уран концентрируется в ураноторианите, уранопирохлоре, колумбите и цирконе. Торий в торите, ураноторианите и цирконе. Фтор – в криолите, томсенолите и др. фторидах, во флюорите. Бериллий – в фенаките, берилле и бертрандите. Сера, цинк и свинец в сульфидах (галенит, пирит, сфалерит). Для этого геоэкологического типа рудных месторождений безусловно индикаторами будут служить фтор, уран и бериллий. К этому же геоэкологическому типу руд можно отнести редкометалльно-флюоритовые руды Бурятии и Южного Приморья (табл. 8). Для этих месторождений индикаторами являются F, Be и As, которые в Вознесенском рудном районе Южного Приморья, где этот геоэкологический тип рудных месторождений разрабатывается уже несколько десятилетий, создают в почвенном покрове наиболее обширные ореолы. Кроме Be и As – формируются и экогидрогеохимические ореолы фтористых сульфатных вод с содержанием F – в 1,5-3 ПДК и сульфат иона (до 500 мг/л).

**Тип Д. Группа урановых месторождений, токсичность которых, прежде всего, определяется их радиоактивностью, а также присутствием ряда неорганических токсикантов.** В этом типе отчетливо выделяются по геоэкологическим свойствам несколько подтипов:

*Д<sub>1</sub> – сульфидсодержащие*

*Д<sub>2</sub> – бессульфидные*

*Д<sub>3</sub> – битумсодержащие*

*Д<sub>4</sub> – мышьяксодержащие*

Примером сульфидсодержащих урановых месторождений (Д<sub>1</sub>) являются уран-молибденовые месторождения Забайкалья (Стрельцовское рудное поле) и Северного Казахстана. Собственно урановые месторождения (Д<sub>2</sub>) – урановые месторождения в щелочных метасоматитах Украины (Кировоградский рудный район).

Таблица 8

Виды токсикантов и индикаторы токсичности бессульфидных месторождений с практическим отсутствием зоны окисления

(Геозкологический тип Г)

(по данным Р.В.Голевой, Б.Н.Маринова, И.И.Куприяновой, Т.Н.Шуриги, Е.П.Шпанова и М.И.Новиковой)

Геохимический спектр	ЭКОГЕОХИМИЯ					ЭКОМИНЕРАЛОГИЯ	ЭКОГИДРОГЕОХИМИЯ	Индикаторы токсичности	Примеры месторождений
	Виды токсикантов	Класс опасности	Содержание в руде Ср%	Коэффициент концентрации КК=Ср/ПДК или Ср/Слит	Общая токсичность n Зр.м.= $\sum_{i=1}^n X_i$	Руды	Токсичность вод X=Сод./ПДК		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F, Be, S, Sn, Pb, Bi, Cu, Co Mn, Cr Ni, Co, V, W, Cd, As Zn, Li	F  Be Bi W Li Mo	  1 2 3 1 2	0,86 до первых %  0,17-0,9 0,002-0,005 0,028 0,048-1,0 0,009	> 3570 (подвижных форм) > 1000 (водорастворимых) 450 · 10 <sup>3</sup> > 5500 > 217 > 168 > 82	>4500000	Флюорит, минералы бериллия (фенакит, хризоберилл, эвклаз, бертрандит, берилл) В самородный Li слюды Сульфиды Fe, Pb, Zn, Cu, Mo (незначительно)	Be (1,21-3,19)/0,0002 >> ПДК Pb 0,055/0,03 > ПДК Cd 0,001/0,001 = ПДК As (0,103-6,300)/0,05 >> ПДК Mn (0,217-0,519)/0,1 >> ПДК	Be, F, Bi, Li, Mo, W в экогеохимических ореолах в депонируемых средах; Be, As, Mn – в экогидрогеохимических ореолах. Сульфатные воды с фтором в 1,5-3 раза выше ПДК	Тантал-ниобиевые в ЮВ Туле (Улуг-Танзекское). В.Саяне (Зашихинское) и Забайкалье (Катугинское) Редкометаллы в Бурятии (Ермаковское) и Южном Приморье (Вознесенское рудное поле).

Битумсодержащие (Д<sub>3</sub>) представлены уран-битумным типом, развитым в Среднем Поволжье (Репьевское месторождение), и уран-арсенидный тип (Д<sub>4</sub>) представлен Приморским месторождением в Минусинских впадинах.

Для геоэкологической типизации рудных месторождений по вещественному составу весьма важное значение имеет тип их зоны окисления, т.к. именно при формировании зоны окисления осуществляются сложные фазовые взаимопереходы и взаимопревращения форм нахождения токсикантов, значительная часть которых высвобождается вследствие перехода в легкорастворимые формы в окислительных условиях зоны гипергенеза. Экологическое значение зоны окисления можно продемонстрировать на примере разнотипных урановых месторождений. *На собственно урановых (Д<sub>2</sub>) месторождениях* возникают гидроокисные и гидроокисно-силикатные зоны окисления [1]. Для таких зон окисления характерны следующие особенности:

- зона окисления повторяет морфологию первичных руд;
- малоподвергшиеся процессам окисления рудные выходы по содержанию урана практически не отличаются от первичных руд;
- сильно проработанные выходы превращаются в обогащенные ураном глинисто-кремнистые массы;
- урановые минералы зоны окисления образуют псевдоморфозы по настурану и ураниниту, а также формируют мелкокристаллические друзы в пустотах настурана;
- в зонах окисления отсутствуют зоны вторичного обогащения.

Зона окисления собственно урановых месторождений состоит из гидроокислов и силикатов урана, урановых слюдок, глинистых минералов, разрушенных карбонатов, гиббсита, кварца, гидроокислов железа, пирита, хлорита, цеолитов, коффинита, а также минералов ренардитового ряда.

Наиболее характерными урановыми гидроокислами являются гидронастуран, ургит, янтинит, скупит, параскупит, ванденбрайт, компреньясит, рамоит, агриньерит, беккерелит, бильетит, вандендрисшит, фумарьерит, майсюит, кюрит, велсендорфит, ршшетит, баураноит, кальцураноит, ураносферит, кларкеит; к основным урановым силикатам зоны окисления относятся уранофан, бета-уранофан, соддиит, купроскладовскит, складовскит, болтвудит, казолит, уиксит, хейвиит, ранкаилит, калькурсилит, магурсилит. А.А.Черников [28] определяет

следующий состав подземных вод зон окисления собственно урановых месторождений:

- газы (кислород, углекислота, сероводород);
- ионы ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ );
- коллоидные растворы марганца, мышьяка, титана, ванадия и железа;
- органическое вещество в форме коллоидных и истинных растворов.

При разрушении минералов урана в раствор попадают токсичные элементы: фосфор ( $1 \cdot 10^{-6} - 6 \cdot 10^{-6}$  г/л), ванадий ( $2 \cdot 10^{-4}$  г/л), молибден ( $1 \cdot 10^{-6} - 2 \cdot 10^{-1}$  г/л), мышьяк ( $1 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-1}$  г/л) и уран ( $n \cdot 10^{-6} - 2,5$  г/л), а также свинец, барит, висмут, медь и стронций.

**На ураново-сульфидных месторождениях** ( $D_1$ ,  $D_4$ ) [1, 28] возникают силикатно-слюдковые, силикатные, слюдковые, лимонитовые и слюdkово-лимонитовые зоны окисления. Для этого типа зон характерны следующие особенности:

- полное или частичное уничтожение первичных минералов урана и появление урановых слюдок;
- при образовании силикатных или силикатно-слюdkовых зон окисления зона вторичного обогащения незначительна или отсутствует;
- минеральный состав зоны окисления: малахит, брошантит, хризокolla, фосфаты и арсенаты меди (для медьсодержащих сульфидов); церуссит, англезит, пироморфит, миметизит (для свинцовых сульфидов); смитсонит (для цинковых сульфидов); гидрoкарбонаты висмута (для висмутовых сульфидов);
- для слюdkовой и лимонитовой разновидностей зон окисления возможно наличие интенсивно выраженной зоны вторичного обогащения;
- наличие в составе первичных руд мышьяксодержащих сульфидов или арсенидов приводит к образованию мышьяковых слюдок;
- характерна горизонтальная зональность в распределении слюдок (по мере удаления от рудных тел к флангам арсенатные слюдки сменяются фосфатными);
- при выщелачивании урана из зоны окисления он накапливается в зоне цементации, где происходит сорбция слабо растворимых соединений.

Для *силикатно-слюdkовых зон* окисления характерен следующий минеральный состав:  $\beta$ -уранофан, уранофан, казолит, арсенаты урана,

тюямунит и небольшое количество гидроокислов урана (коффинит, трегерит, ураноспинит, метацейнерит). Согласно данным А.А.Черникова [28], воды зоны окисления содержат уран ( $n \cdot 10^{-3}$  г/л), марганец, мышьяк, фосфор ( $< 5 \cdot 10^{-6}$  г/л), кремнекислоту (10 – 16 г/л), молибден ( $n \cdot 10^{-4}$  г/л) и свободный кислород (до 7,2 мг/л). Наиболее токсичными элементами в таких зонах окисления являются фосфор, мышьяк, барий, медь, кобальт, висмут и цинк.

*В силикатных зонах окисления* образуются уранофан,  $\beta$ -уранофан, склодовскит, медистый склодовскит, казолит, парсонсит, дюмонтит, девинтит, а также гидроокислы висмута, марганца и железа. По мере увеличения мощности зоны окисления сульфатный процесс сменяется карбонатным, а на самых нижних горизонтах преобладает силикатный процесс. При этом наблюдается высвобождение таких токсикантов, как висмут, медь и свинец.

*Слюдковую зону окисления* уран-сульфидных месторождений характеризует наличие таких минералов, как ураноспинит, цейнерит, трегерит, беккерелит, бильетит, урановые черни, аннабергит, лимонит, гетит, гидроокислы марганца, урановые слюдки и ванадаты урана. В зоне вторичного обогащения, характерной для подобного типа зон окисления, широко развиты регенерированные урановые черни. Наиболее вредными для здоровья человека элементами, попадающими в водоносные горизонты при образовании слюдковых зон окисления, являются стронций, фосфор, мышьяк, медь, кобальт, никель, ванадий.

*Слюдковая и лимонитово-слюдковая зоны* окисления содержат иоганит, ураноспинит, малахит, азурит, цианотрихит, брошантит, халькантит и гидрокарбонаты висмута. Для этого типа также характерно развитие зоны вторичного сульфидного обогащения, представленной преимущественно урановыми чернями. Водные горизонты насыщены кислородом, содержание урана в них достигает  $n \cdot 10^{-3}$  г/л. При образовании лимонитовых и слюдково-лимонитовых зон окисления высвобождаются такие токсичные элементы как медь, висмут, свинец и цинк.

На ураново-сульфидных месторождениях известны и другие типы зоны окисления: уран-молибдатная на уран-молибденовых месторождениях, уранил-свинцово-фосфатная, уранил-свинцово-мышьяковая и уранил-селенидная (теллуридная) на урановых месторождениях со значительным развитием минералов молибдена, свинца, мышьяка, селена, теллура и фосфатов [1]. Своеобразную зону окисления имеют

уран-ванадиевый тип урановых месторождений и уран-битумные месторождения [28].

*Уран-молибдатная зона окисления.*

Подобное окисление происходит в том случае, когда в первичных рудах количество молибдена преобладает над количеством урана, и молибденовые минералы представлены в своей наиболее легко изменяющейся форме (иордизит, фемолит). Типовые особенности таких зон:

- первичные минералы урана могут отсутствовать,
- возможна зона вторичного обогащения,
- появление уран-молибдатов в зоне окисления незначительных урановых аномалий в пределах районов развития молибденовых месторождений,
- вертикальная зональность проявляется в последовательной смене  $U^{6+}$ , содержащегося в руде (первичные урановые смолки), умохоитом ( $U^{4+}$ ) зоны обогащения, а затем уранофаном ( $U^{6+}$ ), образующимся на верхних горизонтах зоны окисления.

Согласно исследованиям А.А.Черникова [28], для образования подобных зон окисления необходима кислая или слабокислая среда. При  $pH > 6,1$  подвижным становится ион  $MoO_4^{3-}$ , а при  $2 < pH < 6,1$  подвижны такие формы молибдатов как  $Mo_3O_{11}^{4-}$  и  $H_3Mo_6O_{21}^{3-}$ . Совместное нахождение в рудах настурана, сульфидов молибдена и пирита увеличивает их окисление и растворение.

Минералы зоны окисления молибденовых месторождений с повышенным содержанием урана представлены молибдатами урана, урановыми слюдками, уранофаном,  $\beta$ -уранофаном, казолитом, складовскимитом, бетпакдалитом, железистым молибденитом, фармакосидеритом и ярозитом. Зону вторичного обогащения слагают умохоит, маурит, седовит и урановые черни. Подобный минеральный состав окисленных руд увеличивает в водоносных горизонтах концентрации меди, свинца и цинка.

*Уранил-свинцово-фосфатные и уранил-свинцово-мышьяковые зоны окисления.*

Повышенные содержания фосфора и мышьяка обусловлены присутствием в зоне окисления почти исключительно одних свинцово-урановых фосфатов или арсенатов урана, особенно парсонсита и его мышьякового аналога. Для таких зон окисления характерны следующие особенности:

- по составу вторичной минерализации такие зоны могут классифицироваться как слюдково-силикатные,
- возможно развитие зоны вторичного обогащения,
- первичные минералы урана могут отсутствовать.

Согласно исследованиям Л.Н.Беловой [1], образование фосфатных или мышьяковистых зон окисления происходит в условиях  $pH = 7-8$  (хлоридно-сульфатные воды, обогащенные углекислотой и свободным кислородом, с содержанием урана в  $n \cdot 10^{-4}$  г/л). Минералы таких зон окисления представлены казолитом, уранофаном, отенитом, уранил-свинцовыми фосфатами, хейвитом, вульфенитом, церусситом, брошантитом, малахитом, торбернитом и гидроокислами железа и марганца.

Из опасных для здоровья человека элементов описываемые зоны окисления содержат медь, свинец, мышьяк.

*Уранил-селенидные (теллуридные) зоны окисления.*

Гидрогеология и геохимия селен- и теллурсодержащих зон окисления на данный момент полностью не изучена. Для них характерны следующие специфические особенности:

- теллуриды и селениды урана находятся в зоне окисления без-урановых месторождений, расположенных в непосредственной близости от крупных урановых месторождений или поясов,
- селениды и теллуриды приурочены к медным и золотым месторождениям,
- в состав урановых руд часто входят первичные селениды кобальта, никеля и меди, но в зоне окисления урановых месторождений селенидов урана не обнаружено.

При разрушении теллур- и селенсодержащих минералов в окружающую среду попадают повышенные содержания бария, селена, меди, свинца и теллура.

*Уран-ванадиевая зона окисления месторождений [28]* изучена недостаточно хорошо.

Специфические особенности этой зоны окисления:

- по составу вторичной минерализации она относится к гидроокисно-силикатным зонам окисления,
- для образования ванадатов уранила в зоне окисления необходима обедненность первичных руд дисульфидами и органическим веществом,

- над первичными рудами возможно образование зоны вторичного обогащения,
- в ряде случаев в зоне окисления формируется вертикальная зональность.

Процесс образования урановых минералов зависит от состава вмещающих пород. В породах, содержащих малое количество карбонатов, происходит растворение настурана и коффинита. Одновременно происходит окисление ванадия с образованием карнотита и россита, а затем растворение карнотита и тюямунита. Растворение монтрозеита и патронита происходит с полным окислением  $V^{3+}$  и  $V^{4+}$ . В карбонатных битуминозных породах с хорошей водопроницаемостью идет распад настурана и коффинита с высвобождением  $UO_3$ , затем происходит вынос урана и образование шрекенгерита, раувита и карнотита (с равными содержаниями урана и ванадия), после чего растворяется сперва шрекенгерит, а затем карнотит и тюямунит. Распадение монтрозеита и патронита сопровождается полным окислением ванадия и выносом его из зоны окисления. Для битуминозных карбонатных пород с плохой водопроницаемостью характерно окисление урана до  $UO_3$  с образованием силикатов и карбонатов уранила, после чего образуются тюямунит, стрелкинит и им подобные минералы и начинается активное выщелачивание ванадатов и других минералов.

Образование ванадийсодержащих зон окисления происходит в условиях сульфатно-гидрокарбонатных кальциево-натриевых вод с  $pH = 6,2 - 8,4$  и концентраций урана и ванадия примерно  $n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-4}$  г/моль/л. Минералы зоны окисления представлены уранофаном, либигитом, казолитом, андерсонитом, самородным селеном, карнотитом, тюямунитом, стрелкинитом, парамонтрозеитом, янтинитом, скупитом, кларкеитом, парамонтрозеитом, янтинитом, скупитом, кларкеитом, шрекенгеритом, раувитом, соддиитом, росситом и сульфанитом. В зоне вторичного обогащения образуются преимущественно ванадаты уранила. Значительный урон здоровью человека могут нанести образующиеся в ванадатных зонах окисления медь, мышьяк, ванадий и активные органические вещества.

#### ***Окисление урановых руд с органическим веществом (Д<sub>3</sub>) [28].***

При участии в процессе окисления урановых руд органического вещества зона окисления приобретает некоторые характерные осо-

бенности. Наличие в рудах органики обуславливает щелочную обстановку гидрогеологической среды ( $pH = 7,0 - 8,5$ ).

Из минералов зоны окисления наиболее характерны силикаты и карбонаты уранила, ураноносный фосфорит, лимонит, натроотенит, водородный отенит, глинистые минералы, ферраселит и самородный  $\gamma$ -селен. Наиболее вредными токсикантами в данном случае являются молибден, селен, медь, свинец и цинк.

Таким образом, по возрастанию экологической опасности урановорудные месторождения в зависимости от типа зоны окисления составляют следующий ряд:

- месторождения собственно урановые с гидрооксидной и гидрооксидно-силикатной зоной окисления (без зоны вторичного обогащения) ( $D_2$ ),
- месторождения урано-сульфидные с зоной вторичного обогащения ( $D_1$ ) с подтипами: уран-сульфидные со слюдяковыми и силикатно-слюдяковыми зонами окисления и уран-молибденовые с уран-молибдатной зоной окисления, а также уран-мышьяковые с уранил-свинцово-мышьяковой зоной окисления ( $D_4$ ).

Неоднозначна экологическая оценка урановых месторождений с плохо изученными типами зоны окисления: уранил-селенидной (теллуридной) и уран-ванадиевой, а также уран-битумных месторождений ( $D_3$ ), на которых формирование зоны окисления происходит в присутствии органического вещества.

## **Заключение**

В связи с ограниченным кругом вовлеченных в анализ эталонных рудных месторождений и неполнотой имеющихся фактических данных об экогеохимических спектрах, уровнях содержаний токсикантов и формах их концентрации, а также об особенностях распространения токсикантов в ведущих депонирующих и транспортирующих средах рудных месторождений и рудоносных площадей, данные рекомендации должны рассматриваться как предварительные. Недостаточность статистического материала не позволяет в настоящее время создать целостную систему индикаторов токсичности для ведущих типов рудных месторождений. Однако необходимость решать насущные экологические проблемы, в том числе социальные, на территориях России, где развито горнодобывающее производство или ведутся интенсивные

геологоразведочные работы на твердые полезные ископаемые, требует использования данных рекомендаций уже в настоящее время.

Оценка потенциальной токсичности рудных месторождений важна при проведении:

- предпроектных экологических экспертиз и экологического аудирования,
- при эколого-экономической оценке рудных месторождений,
- при организации мониторинга геологической среды на рудоносных площадях,
- при планировании комплекса природоохранных мероприятий как предотвращающих экологический ущерб, так и реабилитационных,
- при геологоразведочном и горнорудном производстве,
- при разработке системы санитарно-гигиенических и медико-биологических мероприятий в районах освоения месторождений металлических полезных ископаемых.

Данные рекомендации можно использовать также при решении широкого круга социальных экологических проблем, возникающих при освоении минерально-сырьевого комплекса страны: обеспечение экологической безопасности и сохранение здоровья горно-геологического персонала и населения, проживающего на территориях градообразующих горнорудных предприятий, совершенствование механизмов экологического страхования, снижение степени социальной напряженности в связи с экологическими проблемами, типичными для регионов с горнорудным производством и т.д.

**Краткая характеристика токсичности основных и редких элементов рудных месторождений и их влияние на человека [12]**

**Железо.** Аэрозоли, содержащие соли железа, при длительном воздействии вызывают разновидность пневмонии (сидероз с относительно доброкачественным течением, возможны бронхиты и сухой плеврит).

**Сера.** Наряду с углеродом, азотом, калием, хлором относится к важнейшим биофилам; токсичны ее летучие соединения: серная кислота, сероводород, серный и сернистый газы.

**Цинк.** Длительная интоксикация (5-20 лет) приводит к желудочно-кишечным расстройствам, увеличению числа ОРЗ, кариесу зубов, изменению морфологического состава крови, повышению заболеваемости детского населения; мутаген, гонадо- и эмбриотоксичен.

**Медь.** Соединения меди раздражают слизистые оболочки верхних дыхательных путей и желудочно-кишечного тракта. При хронической интоксикации функциональные расстройства нервной системы, нарушение функций почек, печени; канцероген, гонадотоксичен.

**Барий.** При длительной интоксикации вытесняет фосфор и кальций из костной ткани и вызывает остеопороз, накапливаясь в костях, изменяет функцию костного мозга, вызывая лейкозы. Растворимые соли бария токсичны, вызывают воспаления головного мозга, влияют на миокард, гонадотоксичен.

**Свинец.** Политропный яд, вызывает патологические изменения в нервной системе, в крови и сосудах, приводит к легочным заболеваниям у детей, угнетает ферменты крови и ткани, гонадо- и эмбриотоксичен, в растворах при содержании более 0,8 мг/л – канцероген.

**Мышьяк.** Функциональные расстройства нервной системы, некрозы печени, почек, кишечника, сердца, кожные заболевания и поражения ногтей, нарушение жирового и углеводородного обмена, дерматиты у детей, рак кожи, поражения периферических сосудов; эмбриотоксичен, мута и канцероген.

**Никель.** Бронхогенный рак, гипотония, гастриты, патологические изменения печени, функциональные изменения нервной системы, гонадотоксичен, канцероген.

**Кобальт.** Дерматиты, при хроническом воздействии – бронхиты, анемия, гипотония, известны случаи нарушения щитовидной железы, аллергия, канцероген.

**Сурьма.** Хроническая интоксикация приводит к изменению обмена веществ, к функциональным расстройствам нервной системы и патологическим изменениям миокарда.

**Кадмий.** Повышение смертности от сердечно-сосудистых заболеваний, увеличение числа ОРЗ, воздействие на желудочно-кишечный тракт, поражение центральной и периферической нервной систем, сердца, печени, почек, скелетной мускулатуры и костных тканей. При хронической интоксикации – потеря обоняния, головные боли, носовые кровотечения. Политропный яд, гонадо- и эмбриотоксичен, мута- и канцероген.

**Теллур.** Поражает органы дыхания, эмбриотоксичен.

**Висмут.** Патологические изменения в организме под воздействием висмута и его соединений пока не известны.

**Селен.** По характеру токсичного воздействия напоминает мышьяк. Политропный яд, поражает печень, почки, вызывает функциональные расстройства нервной системы, хроническое воспаление суставов, эмбриотоксичен, канцероген.

**Молибден.** Артриты, боли в суставах, молибденозы, напоминающие по патологии подагру, непостоянство кровяного давления, нарушение обмена веществ, нарушение течения беременности, повышение заболеваемости детей.

**Таллий.** Политропный яд, по действию напоминающий мышьяк. Поражает центральную и периферическую нервную системы, желудочно-кишечный тракт, вызывает выпадение волос, психические расстройства, полиневриты.

**Ртуть.** Токсична в ионной форме; вызывает ртутную неврастению, общее снижение сопротивляемости организма к заболеваниям, поражает центральную и периферическую нервную системы: мутаген, гонадо- и эмбриотоксичен.

**Бериллий.** Высокопатологичный элемент (14 типов патологий, в том числе вызывает раковые заболевания, бериллиевый рахит и др.).

**Фтор.** Высокотоксичный элемент, оказывает негативное влияние на здоровье человека и деструктивное влияние на состояние озонового слоя.

**Главные проявления токсичности микроэлементов у распространенных сельскохозяйственных культур [16]**

		Реакция
Fe	Рис, табак	Замедленный рост, изменение цвета до пурпурного (бронзовая болезнь риса)
Cu	Злаки, бобовые, шпинат, цитрусовые, цветы	Хлороз, угнетение побегов, изменение корня
Zn	Злаки, шпинат	Хлороз, некроз листьев, задержка роста, повреждение корней
Pb	Злаки	Чахлая листва, поражение корней, скручивание листьев
As	Злаки	Угнетение образования побегов, болезненные изменения окраски корней и листьев
Cd	Бобовые, шпинат, редис, морковь, овес	Недоразвитие корней, хлороз, скручивание листьев и изменение их окраски
Co	- " -	Уродливость корней, побеление листьев, междупрожилковый хлороз молодых листьев
Se	Злаки	Междупрожилковый хлороз, черные пятна или почернение листьев, порозовение корней
Hg	Сахарная свекла, маис, розы	Торможение ростков и корней, хлороз листьев, побурение их

## Литература

1. Белова Л.Н. Зона окисления гидротермальных месторождений урана. М., Недра, 1975, 157 с.
2. Бушев А.Г., Кудрин В.С., Сидоренко Г.А. и др. Экологическая оценка рудных месторождений по токсичным органическим соединениям (на примере месторождений золота, олова, вольфрама, железа, хромитов, редких металлов и флюорита). Методические рекомендации, № 123 НСОММИ, Москва, ВИМС, 1999 г., 51 с.
3. Вартамян Г.С., Шахнова Р.К. Современное состояние проблемы изучения геоиндикаторов быстрых экологических изменений окружающей среды. Сб. "Геоэкологические исследования и охрана недр". М., 1996 г., 27 с.
4. Вредные химические вещества. Справочник (гл.ред. В.А.Филов), Л. Химия: т.1 – 1988; т.2 – 1989; т. 3 и 4 – 1990.
5. Временные требования к геологическому изучению и прогнозированию воздействия разведки и разработки месторождений полезных ископаемых на окружающую среду. Москва, 1991, ГКЗ СССР, 11 с.
6. Временное положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). М., 1998, 19 с.
7. Гавриленко В.В. Экологическая минералогия и геохимия месторождений полезных ископаемых. СПб, 1993 г., 149 с.
8. Голева Р.В., Сенькова Н.Р., Тюленева В.М. Опыт оценки состояния окружающей среды на ранних стадиях освоения рудных месторождений. Сб. "Геоэкологические исследования и охрана недр", М., 1995, с.32-41
9. Голева Р.В., Куприянова И.И., Сидоренко Г.А. и др. Минералого-геохимические исследования форм нахождения токсичных веществ в природных и техногенных аномалиях для оценки их экологической опасности. Методические рекомендации № 117 НСОММИ, ВИМС, 1997, 41 с.
10. Голева Р.В. Значение геоэкологической типизации рудных месторождений по видам и индикаторам загрязнений для организации охраны природной среды. Сб. "Геоэкологические исследования и охрана недр", № 1, 1999, с.29-34
11. Голева Р.В. Методические основы и принципы геоэкологической типизации рудных месторождений по основным видам токсикан-

- тов и индикаторам токсичности. Сб. "Геоэкологические исследования и охрана недр", № 4, 1999 г., с. 18-29
12. Емлин Э.Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. Свердловск, Изд-во Уральского университета, 1991, 255 с.
  13. Иванов В.В., Юшко-Захарова О.Е. Экогеохимия редких элементов. Разведка и охрана недр, № 3, 1993, с.24-27
  14. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Справочник в 6 томах. М., "Экология", 1994-1997 гг.
  15. Иванов В.В. О понятии "экологическая минералогия" и методах прогноза токсикологической опасности минералов. В кн. "Минералогические исследования в решении экологических проблем". М., 1998, с.5-15.
  16. Кабата-Пендиас А., Х.Пендиас. Микроэлементы в почвах и растениях. М., Мир, 1989 г., 379 с.
  17. Карпухина В.С., Баранов Э.Н. Формы нахождения элементов-индикаторов в ореолах колчеданных месторождений. М., Наука, 1983, 183 с.
  18. Колотов Б.А. Гидрогеохимия рудных месторождений. М., Недра, 1992, 191 с.
  19. Овчинников Л.Н., Лужков Р.И. Геохимические типы и зональность колчеданного оруденения Урала. М., Наука, 1983, 183 с.
  20. Методические рекомендации по геохимическим исследованиям для оценки воздействия на окружающую среду проектируемых горнодобывающих предприятий. Саев Ю. Е., Онищенко Т. Л., Янин Е. П.. ИМГРЭ, М, 1983 г. 83 стр.
  21. Методические указания к экологическому обоснованию проектов разведочных кондиций на минеральное сырье МПР России и Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ГКЗ), 1995 г.
  22. Микроэлементы человека. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А. и др. М. Медицина. 1991, 500 с.
  23. Минеральное сырье, справочник по видам полезных ископаемых > 100 выпусков, МПР России, 1997-1999 г.
  24. Положение об оценке воздействия на окружающую среду в РФ (ОВОС) (Приказ МПР России № 222 от 18/VI-94 г.).
  25. Постановление Коллегии МПР России № 16-1 от 10.11.95.
  26. Положение о порядке осуществления государственного мониторинга состояния недр Российской Федерации (21.05.01 №433).

27. Рихванов Л.П. Радиогеохимическая типизация рудномагматических образований Алтае-Саянской складчатой области. Докторская диссертация. 1999. 300 с.
28. Черников А.А. Поведение урана в зоне гипергенеза. М., Недра, 1981, 207 с.
29. Янин Е.П. Экологическая геохимия горнопромышленных территорий. Изд. АОЗТ "Геоинформмарк", 1993, 51 с.
30. Яхонтова А.К., Грудев А.П. Зона гипергенеза рудных месторождений. Изд. МГУ, 1978, 22 стр.
31. Elliot D.C. A conceptual framework for geo-environmental indicators. Summary. Canada, 1994