

## ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

УДК 550.422:835:844(571.56-16)

### КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТОМТОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.В.Толстов, А.П.Гунин\*

*Якутское научно-исследовательское геологоразведочное предприятие ЦНИГРИ  
Акционерной компании "АЛРОСА", Республика Саха (Якутия), г.Мирный*

*\*Амакинская экспедиция Акционерной компании АЛРОСА Республика Саха (Якутия),  
п. Айхал*

Впервые рассматривается весь комплекс проблем, от геологических до экологических, связанных с предстоящей отработкой нового геолого-промышленного типа уникальных ниобий-редкоземельных пироксид-монацит-крандаллитовых руд участка Буранный Томторского месторождения, геолого-экономическая оценка которого показала высокую рентабельность. Горно-геологические проблемы освоения увязаны с вещественным составом руд, наличием токсичных и радиоактивных минералов и элементов-примесей. На основе проведенных эколого-радиометрических исследований делается вывод о возможности отработки участка первой очереди карьерным способом и дается общий прогноз воздействия промышленного освоения месторождения на экосистему Северо-запада Якутии (Анабарского и Оленекского районов). В заключении даются рекомендации по рациональному освоению месторождения, проведению мониторинга, позволяющего контролировать состояние окружающей среды в районе возможного влияния отработки месторождения и минимизировать ущерб окружающей природе.

#### Введение

Томторское месторождение ниобий-редкоземельных руд расположено на северо-востоке Сибирской платформы (рис.1) и приурочено к коренным карбонатитам и их корам выветривания одноименного массива колоссальных размеров [1,2] (рис.2). На месторождении выявлены, разведаны и учтены ГКЗ пироксид-монацит-крандаллитовые образования переотложенной коры выветривания, представляющие собой новый геолого-промышленный тип комплексных ниобий-редкоземельных руд участка Буранный [3]. Участок Буранный представляет собой одно из крупнейших в мире месторождений Nb,Y,Sc и TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. В пределах месторождения выявлены участки с промышленными содержаниями Fe,Mn,Ti,V (табл.1), соответствующими крупным месторождениям, породы вскрыши содержат большие запасы каолинов и бурых углей. Выявлены, разведаны и учтены ГКЗ пироксид-монацит-крандаллитовые образования переотложенной коры выветривания, представляющие собой новый геолого-промышленный тип комплексных Nb-TR руд [4,5].

Практическая значимость нового типа руд определяется уникальным набором полезных компонентов с огромными запасами и ресурсами, а также аномальными концентрациями ниобия, иттрия, скандия, редкоземельных элементов, а также железа

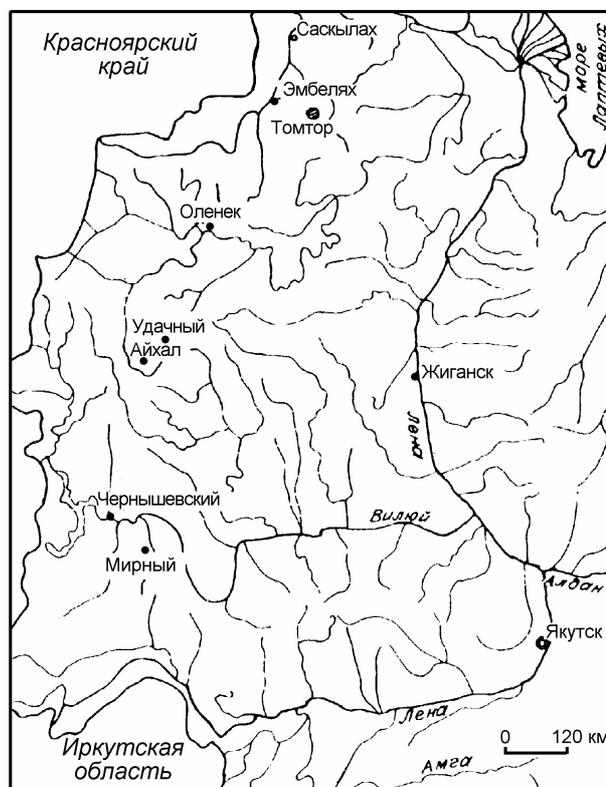
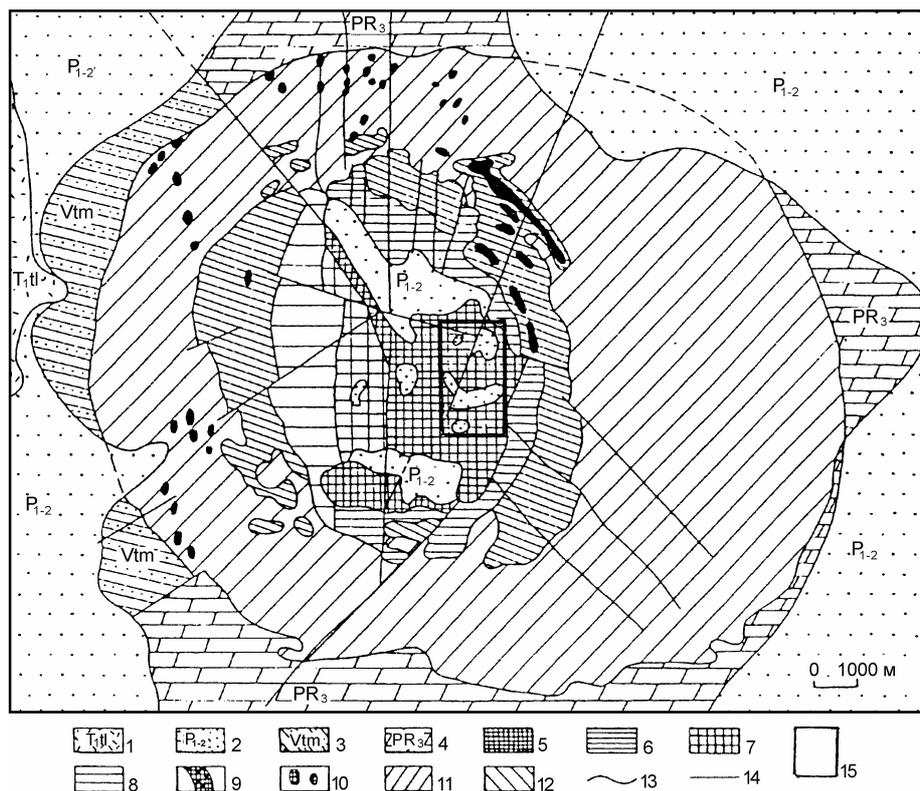


Рис. 1. Обзорная карта Западной Якутии.



**Рис. 2. Обзорная геологическая карта массива Томтор (Голстов, 1998).** Осадочный комплекс: 1 - нижний триас, туфолововая толща - туфы, лавы основного состава; 2 - пермь нерасчлененная - конгломераты, гравелиты, песчаники, угли; 3 - венд, томторская свита - гравелиты, кварцитовидные песчаники; 4 - верхний протерозой - терригенно-карбонатная толща. Интрузивный и метасоматический комплекс массива Томтор: 5 - карбонаты рудные (поздняя фацция) поликарбонатного состава; 6 - карбонатно-силикатные породы апатит-калишпат-биотитового состава, связанные с рудными карбонатами; 7 - карбонаты безрудные (ранняя фацция) доломит-кальцитового состава; 8 - карбонатно-силикатные породы кальцит-калишпат-флогопитового состава, связанные с ранними карбонатами; 9 - камафориты (апатит-флогопит-магнетитовые породы); 10 - щелочные пикриты и другие породы альнит-тингуаитовой формации; 11 - нефелиновые и щелочные сиениты; 12 - фойдолиты (нефелин-пироксеновые породы); 13 - геологические границы; 14 - тектонические нарушения; 15 - участок Буранный.

и фосфора. Основными полезными компонентами Nb-TR руд являются Nb, Y, Sc, TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Ce (La, Ce, Pr, Nd) и TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Y (Eu, Sm) групп. Попутные компоненты представлены: Ti, V, Al, P, Zr, Sr, Th, Rb, U, TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Y (Gd, Tb, Ho, Er, Dy, Tm, Tl, Lu) [6]. Основные минералы нового типа руд - пироксид, монацит и крандаллит, присутствуют в количествах от 10 до 80%. Содержания полезных компонентов варьируют: Nb = 1-24%, Y = 0.1-3.5%, Sc = 0.01-0.15%, TR = 1-39%.

Необходимость отработки месторождения очевидна по многим, вполне объективным, причинам. В непосредственной близости расположены алмазные россыпи р. Эбелях, промышленные месторождения углей и стройматериалов, часть из которых обрабатывается. На северо-западе Якутии создается горнодобывающий комплекс, начало которому положено вводом в эксплуатацию фабрики №13 Анабарского ГОКа АК АЛРОСА. Вовлечение в промышленную обработку Томтора благоприятно отразится на экономике наиболее отсталых Анабарского и Оленекского улусов Якутии.

**Геолого-экономическая оценка** показала высокую рентабельность отработки Томторского месторождения, однако, сама геолого-экономическая оценка объекта является сложнейшей задачей,

основу которой составляет нестабильность цен международного рынка на редкоземельную продукцию, слабо прогнозируемая инфляция и перманентный спад промышленного производства в России. Стоимость товарной продукции принята соответствующей минимальным ценам мирового рынка или значительно ниже их (Ce - 10 долл/кг, La - 12 долл/кг, Pr - 7 долл/кг, Y - 20 долл/кг, Nd - 24 долл/кг, Sm - 25 долл/кг, Eu - 200 долл/кг, Sc - 600 долл/кг). Суммарная стоимость годовой товарной продукции при этом составляет около 20 млн. долл. [7].

ГКЗ МПР РФ государственным балансом учтены запасы этого геолого-промышленного типа категории В+С<sub>1</sub>, предназначенные для открытой отработки карьером при бортовом содержании Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 3,5% и предельном коэффициенте вскрыши 3,5 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> в объеме 1178,4 тыс. т. При этом средние содержания основных полезных компонентов в балансовых рудах составили: Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 6,71%, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0,595%; Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0,048%, TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 9,53%. Срок первоочередной отработки участка балансовых руд превышает 100 лет при окупаемости основных фондов предприятия по состоянию на 23.04.1999 года за 7,3 года. Значительное улучшение экономических пока-

Таблица 5

Элементы-примеси в различных видах растительности

№ п/п	Материал проб	Кол-во проб	Li	Be	B	P	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Y	Nb	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	La	Ce	Yb	W	Pb	Bi	Tl
			-3	-3	-3	-2	-3	-1	-3	-3	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-4	-3	-3	-3	-4	-5	-4	-4	-3	-2	-2	-4	-3	-3	-4	-4
1	Лиственница, хвоя	231	1,5	0,3	8,4	28,1	1,0	1,5	0,2	1,0	16,2	0,1	0,7	2,2	8,6	0,1	0,5	1,5	2,2	0,8	1,5	1,2	2,5	0,6	0,5	0,2	0,5	2,5	0,3	0,8	0,5	0,6
2	Лиственница, кора	5	1,8	0,3	4,8	8,2	1,2	1,9	0,2	0,5	30,0	0,1	0,5	2,6	13,0	0,1	0,5	1,5	2,6	0,6	1,5	1,4	2,5	0,5	0,5	0,2	0,5	2,5	0,3	1,7	0,5	0,5
3	Береза, листья	124	1,5	0,3	8,3	8,5	1,0	1,1	0,2	0,8	28,6	0,1	0,6	2,1	19,1	0,1	0,5	1,5	1,9	0,7	1,4	0,8	2,8	0,6	0,5	0,7	0,5	7,5	0,3	0,4	0,5	0,5
4	Берёза, ветки	6	1,5	0,3	7,8	9,2	1,0	0,8	0,1	0,5	22,5	0,1	0,5	3,1	47,5	0,1	0,5	1,5	2,0	0,7	1,6	0,9	2,5	0,5	0,5	0,2	0,5	2,5	0,3	0,6	0,5	0,5
5	Мхи	310	1,8	0,3	2,8	12,3	1,1	2,1	1,1	2,1	14,4	0,5	1,5	2,0	9,0	0,3	0,5	1,5	2,8	1,5	1,6	1,5	2,5	0,9	0,5	0,2	0,5	2,8	0,3	1,3	0,5	0,5
6	Водный мох	12	2,8	0,3	3,7	16,0	1,1	2,9	4,1	5,6	20,4	2,3	2,0	2,1	8,1	0,7	0,9	1,8	2,3	0,9	2,5	2,0	2,5	1,1	0,8	0,2	0,5	2,5	0,3	1,3	0,6	0,6
7	Разнотравье	58	1,5	0,3	4,1	10,2	1,0	1,9	0,2	1,1	6,6	0,1	0,8	1,4	3,9	0,1	0,5	1,5	2,7	1,1	2,9	0,9	2,5	0,5	0,5	0,2	0,5	2,5	0,3	0,2	0,5	0,5
8	Ольха, листья	71	1,5	0,3	5,6	6,9	1,0	1,8	0,2	0,7	14,7	0,1	0,7	1,8	13,0	0,1	0,5	1,5	2,0	0,9	1,7	0,8	3,5	0,5	0,5	0,2	0,5	2,5	0,3	0,2	0,5	0,5
9	Лишайники	63	1,7	0,3	3,7	26	1,2	2,0	0,9	2,1	17,9	0,2	1,0	2,5	17,9	0,3	0,5	1,5	2,7	1,2	1,5	2,1	2,5	0,8	0,5	0,2	0,5	2,7	0,3	2,0	0,6	0,5
10	Ива, листья	36	1,5	0,3	6,4	8,6	1,0	1,4	0,7	0,7	15,1	0,1	0,6	1,9	15,0	0,1	0,5	1,5	2,1	0,8	1,5	0,7	3,4	0,6	0,5	0,7	0,5	2,6	0,3	0,3	0,5	0,5
11	Голубика, листья	6	1,5	0,3	7,3	11,0	1,0	1,0	0,1	0,6	23,7	0,1	0,3	2,3	9,0	0,1	0,5	1,5	1,8	0,6	1,5	0,8	2,5	0,7	0,5	0,2	0,5	2,5	0,3	0,3	0,5	0,5
12	Осока	123	1,5	0,3	4,1	13,8	1,0	1,9	0,2	0,9	8,2	0,1	0,7	1,6	8,4	0,1	0,5	1,5	2,4	1,0	6,3	0,8	2,6	0,5	0,5	0,2	0,5	2,5	0,3	0,2	0,5	0,5
13	Кустарники	62	1,5	0,3	6,7	4,9	1,0	1,4	0,2	0,8	17,7	0,1	0,5	1,6	3,4	0,1	0,5	1,5	2,0	0,8	1,7	0,7	2,6	0,5	0,5	0,2	0,5	2,5	0,3	0,3	0,5	0,8
	Среднее	1107	1,6	0,3	5,4	15,1	1,1	1,8	0,5	1,3	15,9	0,2	0,9	2,0	10,6	0,2	0,5	1,5	2,4	1,0	2,2	1,2	2,7	0,7	0,5	0,2	0,5	2,6	0,3	0,8	0,5	0,5

зателей (в 1,2-1,5 раза) возможно при усовершенствовании технологии передела руд с получением высокочистых и наиболее дорогостоящих оксидов редких элементов и при применении предварительного рентгено-радиометрического обогащения. При благоприятно складывающейся ситуации в экономике России резко возрастет потребность рынка в редких элементах, что повлечет за собой неизбежное промышленное освоение месторождения [7].

Всего через год после утверждения запасов в ГКЗ, вследствие многокомпонентности руд, экономические показатели изменились как за счет колебаний цен на некоторые товарные продукты (увеличения стоимости пентаоксида ниобия и уменьшения - оксидов неодима и самария), так и за счет непропорционального изменения выручки от годовой реализации товарной продукции в рублевом исчислении вследствие скачков курса доллара в сравнении с более плавным удорожанием стоимости горнодобычных работ и гидрометаллургической переработки руды. При пересчете на современное состояние при минимальных ценах на товарную продукцию, изменение которых за год оказалось не существенным, срок окупаемости основных фондов предприятия сократился с 7,3 лет до 4,3 лет и на конец 2000 года составил около 4 лет.

**Горно-геологические условия** балансовых запасов нового типа переотложенных руд (мощность пород вскрыши 10-30 м, мощность рудного пласта 15 м и многолетнемерзлое состояние пород и руд) позволяют отрабатывать их карьером [8-10]. Руда представляет собой глиноподобную породу с прожилками льда (5-7%). Естественная влажность руды 21,13%, объемный вес – 2,22 т/м<sup>3</sup> в естественно-льдистом состоянии и 1,75 т/м<sup>3</sup> - в сухом. Породы вскрыши представлены рыхлыми четвертичными (10-15 м), слабо литифицированными юрскими морскими (1-30 м) и пермскими терригенными (0-25 м) отложениями осадочного чехла. Подошва представлена трещиноватыми льдистыми (до 10%) породами коры выветривания (сидеритовыми и франколит-сидеритовыми образованиями), представляющими собой комплексные Nb-TR, P-Fe руды.

Согласно технико-экономическим расчетам, открытый способ отработки (карьер) является более предпочтительным. Но при этом, освоение месторождения будет сопровождаться большими объемами вскрышных работ, что приведет к нарушению существующего равновесия в природной обстановке. При выемке руд на дневную поверхность возможна активизация геохимических процессов, при которых произойдет перераспределение химических элементов между компонентами природной среды. Поскольку руда характеризуется относительно высокими концентрациями тяжелых, токсичных и радиоактивных элементов, то при вскрытии рудного пласта неизбежно попадание их в почвенный слой, поверхностные воды, растительность, что негативно повлияет на экологическое состояние окружающей среды района. Проектируемая мощность карьера

составляет 10 тыс.т. сухой руды (12.7 тыс.т. в естественно-льдистом состоянии) в год. Опыт работы карьера при добыче столь мизерного объема в подобных условиях отсутствует, поскольку сезонная зимняя эксплуатация предполагает его полную или частичную консервацию на летний период.

Мерзлое состояние руды и перекрывающих пород при отработке карьером неизбежно вызовет оттаивание полотна карьера и оползание его бортов [11]. В связи с этим предпочтительнее выглядит подземный сезонный зимний вариант отработки руд, залегающих на глубине не менее 40-50 м с летней консервацией шахтного ствола, или, что касается участка первоочередной отработки, - экспериментальная траншейная отработка с закладкой выработанного пространства. Поэтому, принятый в ТЭО кондиций, как экономически наиболее целесообразный и основной, карьерный способ отработки требует тщательного и взвешенного подхода к решению природоохранных мероприятий, а горнодобывающему предприятию необходимо еще до начала работы в ходе проектирования проработать все возможные альтернативные варианты добычи руды для того, чтобы к минимуму свести ущерб, неизбежно наносимый окружающей природе.

Все эти варианты, а также тщательная проработка возможностей предварительной подготовки руды (крупнопорционная рентгенорадиометрическая сортировка руды в емкостях или покусковая сепарация на транспортной ленте) для улучшения ее качества и снижения объемов автомобильной транспортировки до устья р. Анабар (причал Юрюнг-Хая) и далее водным транспортом до Красноярска необходимо опробовать при проектируемых разведочно-эксплуатационных работах.

**Минералого-технологическая характеристика руд.** Руды участка Буранный представляют собой природную смесь двух концентратов - монацитового и пироклорового и являются весьма сложным объектом для механического обогащения.

По минеральному составу руды делятся на две минералогические разновидности [12,13]:

- пироклор-монацит-крандаллитовые (балансовые) руды;
- высококремнистые каолинит-крандаллитовые (забалансовые) руды.

Наиболее токсичными, радиоактивными и представляющими определенную экологическую опасность являются балансовые пироклор-монацит-крандаллитовые руды, которые согласно предполагаемому способу отработки будут полностью отрабатываться, упаковываться в герметичные контейнеры и направляться на гидрометаллургическую переработку на горно-химический комбинат в г. Красноярск-26.

Основными минералами-концентраторами промышленно-ценных и вредных элементов являются [9,14]:

- Nb – барий-стронцевые пироклолы, второстепенными – рутил, ильменорутит, колумбит;

- Y-Zr-ксенотим, монацит, второстепенными – ксенотим, минералы группы крандаллита, Y-апатит;
- Sc- Zr-ксенотим, Sc-циркон, монацит, второстепенными - Y-апатит, рутил, ильменорутил;
- TR<sub>2</sub>O<sub>3Ce</sub> – монацит, второстепенными - минералы группы крандаллита;
- TR<sub>2</sub>O<sub>3Y</sub> - Zr-ксенотим, монацит (второстепенными – ксенотим, Y-апатит);
- P – минералы группы крандаллита, монацит, второстепенными – апатит, ксенотим;
- V – рутил, ильменорутил;
- Ti – рутил, ильменорутил, анатаз;
- Ba, Sr – гойяцит, горсейксит, второстепенные – пироклор;
- Th – Th-монацит;
- U – изоморфная примесь в монаците;
- Tl – сульфиды таллия.

Разработанная в ВИМСе и ГИРЕДМЕТЕ (г. Москва) и усовершенствованная в ИХХМП (г. Красноярск) технология переработки руды предусматривает двухстадийную схему вскрытия руды: щелочное разложение с выведением P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в голове процесса и последующее кислотное вскрытие с хлорированием твердого остатка и экстракцией TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Глубокое разложение руды позволяет получить в виде товарных продуктов и соответствующем извлечении: Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 83.1%, Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 71.3%, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 60%, TR<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 72.5% (в том числе La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CeO<sub>2</sub>, Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> и частично Ti и Al), а также в виде химических реагентов использовать P, Ba и Sr при общем вовлечении в полезную переработку около 75% компонентов руды. Расход реагентов на переработку 1 т руды составляет 0,9 т с получением твердых (0,812 т), в т.ч. радиоактивных (0,062 т) отходов. Жидких отходов не предусмотрено [4,15].

Технологические проблемы обусловлены, в основном, отсутствием заводских и полувзаводских испытаний проб для уточнения на представительном объеме (сотни тонн) основных технологических параметров (сквозное извлечение, качество получаемой товарной продукции, соответствие ее стандартам и возможность реализации на отечественном и мировом рынке).

Не менее важными технологическими проблемами в плане рационального использования уникальных полиминеральных и многокомпонентных руд являются технологические исследования на стадии отработки месторождения по расширению ассортимента товарных продуктов за счет получения особо дефицитной продукции, пользующейся на рынке повышенным спросом и имеющей, соответственно, максимальные цены, подчас на порядок превышающие установленные технологическим регламентом и принятые в ТЭО кондиций. Такой продукцией могут быть феррониобий, некоторые отдельные высокочистые и наиболее дорогостоящие оксиды редких земель и их металлические формы и соединения, а также тяжелые лантаноиды, не извлекаемые по принятой технологии, и некоторые дру-

гие попутные компоненты руд [7]. В качестве одного из возможных дополнительных полезных компонентов может быть уран, учитываемый, согласно технологическому регламенту, как вредная примесь, подлежащая утилизации. Это, в свою очередь, снимет проблему его захоронения и несколько улучшит экономику месторождения.

**Геоэкологическая характеристика руд.** Ниобий-редкоземельные пироклор-монацит-крандаллитовые руды являются радиоактивными, что составляет первую проблему освоения месторождения. Природу радиоактивности обуславливают U, Th (табл. 1, 6) и <sup>40</sup>K. Содержания U составляют 0,0018 – 0,0892%, Th – 0,0191 – 0,3044%, эквивалент содержания Ra составил 0,0302-0,4656%. Радиологические характеристики богатых пироклор-монацит-крандаллитовых руд несколько выше пород вскрыши и сопоставимы с породами подошвы, что дает основание при оценке удельной активности, расчете ожидаемых доз внешнего и внутреннего облучения, выборе допустимых уровней и определении класса руководствоваться НРБ-76/87 и ОСП-72/87, как при работе с радиоактивными рудами. Принимая во внимание то, что способ отработки предполагает полную выемку кондиционных руд, имеющих максимальную радиоактивность (как правило, превышающую 100 – 150 мкр/час), и отправку ее на гидрометаллургический комбинат, забалансовые руды, имеющие наименьшую радиоактивность (от 10 до 50-100 мкр/час), тем не менее, будут складироваться в сохранные специальные отвалы. При этом породы вскрыши, имеющие практически фоновую радиоактивность (до 10 мкр/час) могут складироваться без всяких ограничений по радиоактивности.

Ограничений на перевозку кондиционных пироклор-монацит-крандаллитовых руд, как источников подобного класса радиоактивности, которая планируется в герметичных металлических контейнерах, как автомобильным, так и водным (речным и морским) транспортом не существует. Единственное, и самое основное требование, одинаково относящееся как к отработке, так и транспортировке руды, соблюдать которое необходимо вне зависимости от балансовой принадлежности руд по всей транспортной цепочке от карьера до горно-химического комбината, - не допускать просыпания руды, что должно неукоснительно соблюдаться, исходя из схемы освоения месторождения, принятой технико-экономическим обоснованием. Помимо U и Th в рудах в высоких концентрациях присутствуют Cu, Ag, Zn, Pb, Tl, органические вещества.

Предварительные результаты изучения токсичности руд в ВИМСе показали наличие в них повышенных концентраций нафталина и фенантрена при содержаниях, соответственно, 250-340 нг/т и от 4 до 184 нг/т. и общей токсичности руд 170-567 тыс. единиц [16]. Однако эти, весьма предварительные данные, должны быть тщательно проанализированы

и детально изучены с началом обработки месторождения.

**Геохимическая характеристика природной среды.** В ходе выполнения геоэкологических исследований согласно методики ВСЕГИНГЕО была построена ландшафтно-индикационная карта с учетом результатов полевых работ, дешифрирования аэрофотоснимков, хозяйственно-геоботанической карты масштаба 1:200000. Ее целью являлось изучение распределения химических элементов по различным природным обстановкам ландшафтов. При наложении ее на геологическую карту Томторского массива прослеживается определенная связь выделенных ландшафтных групп с выходами на поверхность коренных пород, участвующих в почвообразующих процессах на современном этапе развития природной среды. Коренные породы, почвы, донные осадки, поверхностные воды, растительность изучались на предмет характера распределения в них химических элементов, и в первую очередь потенциально токсичных элементов.

**Почвообразующие (коренные) породы.** Породы массива Томтор (карбонатитовый комплекс), перекрытые мощной толщей пермско-кайнозойских отложений, не принимают непосредственного участия в развитии природной среды на современном этапе. В пределах площади работ на дневной поверхности обнажаются терригенно-карбонатные отложения рифея (улахан - курунжская свита), венда (томторская и туркутская свиты), терригенные отложения нижней-верхней перми, нижней и верхней юры (плинсбахский и волжский ярусы), неоген-четвертичные (аллювиальные, озёрные, озёрно-болотные, пролювиально-делювиальные) отложения, вулканогенно-осадочный комплекс нижнего триаса и эндогенный комплекс венда-среднего палеозоя. Все эти комплексы в различной степени принимают участие в современных процессах почвообразования в зависимости от их минерального состава и физико-химических условий природных обстановок.

**Улахан - курунжская свита.** Отложения характеризуются повышенными значениями кларков концентраций (Кк) следующих элементов: Be (3,50), V (2,48), Ti (1,93), Ag (1,34), группы редких элементов - Yb (7,09), W (1,77), La (1,62). Содержания остальных элементов характеризуется близкларковыми и низкими значениями.

**Томторская свита.** Распределение химических элементов в отложениях томторской свиты характеризуются следующими кларками концентраций: V (5,67), Ti (1,67), Cr (1,40), Co (1,18), Sn (1,65), Bi (6,89), Se (4,57). Содержания остальных элементов характеризуется близкларковыми и низкими значениями. Для отложений характерны повышенные содержания элементов группы железа.

**Туркутская свита.** В отложениях свиты повышенное значение кларка концентрации отмечается только у В (1,53). Для остальных элементов характерны низкие значения кларков концентраций.

**Пермская система.** В нижнепермских отложениях отмечается повышение содержания редких, рудных и элементов группы железа с кларками концентраций - Ti (1,47), Cr (1,13), Zn (1,67), Ge (3,31), Ag (1,63), Sc (1,37) Mo (1,45), Nb (1,34), Y (1,27), W (3,23). Высокими значениями Кк характеризуются Bi (108,89), Sb (11,60), Be (10,03), В (4,27). Геохимическая характеристика верхнепермских отложений близка к нижнепермским. Повышенные содержания установлены по Ti (1,33), Zn (1,51), Ge (2,34), Ag (1,46), Mo (1,12), Nb (1,20), W (2,23), Sc (1,41), В (4,60), высокие у Bi (72,22), Sb (18,80), Be (12,24). Повышенное содержание редких элементов в пермских отложениях связано с наличием в их разрезе прослоев углей и углистых пород, а также отдельных линзочек и прослоев переотложенных руд каолинит - крадаллитового горизонта.

**Туфолавовая толща.** Базальты туфолавовой толщи характеризуются повышенными значениями Кк: Ti (1,38), Cr (3,99), Co (2,27), V (3,18), Ni (1,49), Mn (1,72), В (2,83), P (1,69), Cu (4,0), Zn (1,46), Ag (2,66), Sn (1,18). В туфах, как и в базальтах, повышаются содержания Ti (1,60), Cr (1,23), Co (1,99), V (1,78), Mn (1,10), В (4,42), P (1,10). Остальные элементы характеризуются близкларковыми и низкими значениями.

**Плинсбахский ярус.** Отложения яруса характеризуются высокими содержаниями Bi (80,0), Sb (16,0), Li (1,46), В (4,39), P (1,18), Ti (1,51) Zn (1,47), W (1,92), Sc (1,56). Базальный горизонт нижнеюрских отложений характеризуется накоплением редких элементов - Eu (Кк = 76,9), Pr (43,3), Gd (15,0), Nd (7,6).

**Волжский ярус.** Распределение химических элементов в отложениях волжского яруса характеризуется, как и в нижнеюрских отложениях, высокими содержаниями Bi (75,6), Sb (16,8), Zn (1,71), Ge (1,59), Ag (2,13), Pb (1,28), Li (1,48), Be (3,50), W (2,15), Yb (1,12), Nb (1,14), Sc (1,42), В (5,83), P (1,53), Ti (1,71), Cr (1,21). Повышенными концентрациями характеризуется базальный горизонт, где содержание V достигает  $70 \times 10^{-3}$ ; Zn -  $50 \times 10^{-3}$ ; Mn -  $100 \times 10^{-2}$ ; Cr -  $20 \times 10^{-3}$ ; Ge, Pb, В -  $10 \times 10^{-3}$ .

**Плиоцен-эоплейстоценовые отложения** характеризуются накоплением V (1,94), Co (1,94), Ti (1,56), В (3,75), P (2,42), Sn (2,80), Pb (2,03), Ga (1,58). Наиболее высокий кларк концентрации отмечается у Yb (11,36). В отложениях IV надпойменной террасы отмечается высокое содержание Ti (Кк = 144,2), Yb (6,0), Mo (1,22), Pb (2,11), Sn (1,64), Sr (2,32), В (2,83), Cr (1,59). Остальные элементы характеризуются близкларковыми и низкими значениями. Отложения III надпойменной террасы характеризуются высокими содержаниями Ti (Кк = 126,7), Sb (22,6), Bi (55,6), Li (1,15), В (1,67), Cr (1,31), Ag (1,13), Sc (1,43), Mo (1,36). Отложения II террасы имеют аналогичный по сравнению с отложениями III и IV террас состав элементов накопителей. Высокие содержания отмечаются для Ti (106,2), Bi (85,6). Но, если содержание Ti постепенно

уменьшается, то Вi увеличивается. Повышенные содержания отмечаются у В (3,43), Сг (1,37), Аg (1,21), W (2,62), Мо (1,30). Геохимические особенности отложений I-й надпойменной террасы характеризуются накоплением Вi (115,6), Nb (1,31), Мо (9,60), Ge (1,52), В (1,78). Для озёрно-болотных отложений характерно накопление Сг (3,01), Со (2,22), Ti (1,78), V (1,67), Ga (1,32), Pb (1,30), В (3,75), P (1,13), Yb (6,06). Остальные элементы характеризуются близкларковыми и низкими значениями. Проллювиально-деллювиальные отложения характеризуются накоплением Сг (2,59), V (1,71), Ti (1,67), Со (1,11), В (3,72), P (1,62), Pb (1,13), Yb (2,55). Особенности распределения химических элементов в отложениях озёрных пойм характеризуются повышенными содержаниями Сг (4,41), Ti (1,36), V (1,18), В (3,17), P (1,27), Sn (2,20), Pb (1,13), Yb (3,94). Геохимические особенности речных пойм изучены слабо. Они характеризуются близкларковыми содержаниями Y, Со, Pb, (Кк изменяется в пределах от 0,87 до 1,09); повышенными значениями для В, P, Ti, Сг, Sn, Yb (Кк = 1,27-4,41). Содержание остальных элементов ниже кларковых. В русловых отложениях происходит накопление Мо (1,42), Nb (1,16), Y (1,13), Сг (2,66), Ti (1,44), Со (1,25), Аg (2,13), Ge (1,21), Вi (112,22), Li (1,26), В (1,88).

**Фойдолиты.** Главные минералы - пироксены (авгит, эгирин, диопсид), нефелин; второстепенные - перовскит, апатит, карбонат, биотит, цеолиты; акцессорные - магнетит, сфен. Элементный состав фойдолитов характеризуется высокими содержаниями: Вi (Кк = 111,11), Ti (22,22), Mn (10,0), V (1,67), Сг (1,20), Со (1,11), Аg (1,43), Pb (1,25), Мо (9,09), Li (3,13), P (1,61). Остальные элементы характеризуются близкларковыми значениями.

**Щелочные и нефелиновые сиениты.** В минеральном составе преобладает калиевый полевой шпат (до 45 - 90%), нефелин встречается спорадически от полного отсутствия, до 25 - 30%. Из второстепенных минералов отмечаются биотит, сфен, магнетит, апатит, перовскит, пироклор. Из акцессорных распространены циркон и сфен. Элементный состав характеризуется повышенными содержаниями Mn (Кк = 22,0), V (5,80), Ni (2,24), Со (1,89), Сг (1,41), Ti (1,29), Cu (1,30), Pb (3,75), Sr (2,44), Ba (2,46).

**Щёлочно-ультраосновные породы альнеитингуаитовой формации.** Главные минералы: оливин, замещаемый агрегатом серпентина, флогопит, биотит, пироксен (эгирин - диопсид), замещаемые карбонатом и хлоритом. Второстепенные минералы: мелилит, монтичеллит, магнетит, ильменит, перовскит. Акцессорные - апатит, гранаты, магнетит, хромит, пикроильменит. Они характеризуются содержаниями следующих элементов: Ti (Кк = 1,3 - 2,1), V (1,6 - 2,2), Сг (1,1 - 3,9), Со (1,6 - 5,3), Ni (1,2 - 5,7), Cu (1,6 - 2,0), Zn (1,1 - 1,2), Ge (2,6 - 2,9), Y (1,1 - 1,8), Nb (2,1 - 6,0), Мо (2,4 - 3,3), Се (1,3 - 3,3), W (2,7 - 20,8).

**Пироклор-монацит-крандаллитовые руды.** Перекрыты отложениями пермского, юрского и четвертичного возраста. Минеральный состав представлен пироклором (до 25%), монацитом (45%), окислами Ti (рутил, анатаз, брукит 5-15%), сидеритом, гётитом, каолинитом, алюмофосфатами. Из элементов-примесей представлены: Y (Кк= 267,59), La (820,69), Yb (748,48), Се (732,86), Sc (54,5), Lu (125,0), Eu (461,54), Th (79,46), Gd (225,0), Pr (644,44), Nd (435,14), U (24,4), Мо (9,09), Cu (3,77), Zn (11,13) и Sr (68,24).

**Почвы.** Основными факторами, оказывающими влияние на формирование почвенного покрова, являющиеся геологическое строение района и климат. В условиях резко континентального климата с продолжительной, суровой зимой и коротким летом на площади работ образуются два типа почв: мерзлотно-аллювиальные и криозёмы.

**Мерзлотно-аллювиальные почвы** сформировались в пределах развития долинных и склоновых ландшафтных комплексов на современных отложениях речных, озёрных пойм и четвертичных отложениях надпойменных террас. На отложениях речных пойм формируются мерзлотно-аллювиальные дерновые почвы, особенностью которых является наличие в разрезе погребённых гумусовых горизонтов. На переувлажнённых участках озёрных пойм, склонов, водоразделов с эрозионно-термокарстовыми и термокарстовыми типами поверхности формируется мерзлотно-аллювиальный болотный тип почв, характеризующийся относительно мощным торфяным горизонтом.

**Криозёмы гомогенные** образовались под воздействием процессов выветривания почвообразующих пород. Распространены на водораздельных и склоновых поверхностях современного рельефа с развитием деллевого, западинно-бугристого, западинно-мочажинного микрорельефа. Проявляются в верхних и средних частях склонов. Для территории месторождения характерен криоземный тип почв. Распределение содержаний химических элементов в почвенном слое определялось на основе статистической обработки результатов спектрального анализа по 1243 литогеохимическим пробам. Наиболее информативными элементами, содержание которых выше предела чувствительности аналитической аппаратуры являются: Li, В, P, Ti, V, Cr, Mn, Со, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Y, Nb, Мо, Аg, Sn, Pb. По отношению к среднему содержанию в земной коре большинство элементов характеризуются близкларковыми значениями (Кк=0,5-0,9). U, Sr, Cs, Zr, Th, In, Hg, Au в литогеохимических пробах не обнаружены. Повышенными содержаниями относительно кларков характеризуются Li, В, Ti, Сг, Мо, Аg, Y, Yb, Sc, кларк концентраций которых изменяется в пределах 1,1-11,4. У некоторых элементов (Bi, Sb, W, As) наблюдаются высокие значения кларков концентраций (Кк=2,1-58,0), однако содержание их в пробах, по результатам спектрального анализа, не превышает предела чувствительности аппаратуры, что ука-

зывает на отсутствие накопления их в почвах. Содержания П1 также ниже предела чувствительности аппаратуры.

Критерии нормирования содержаний элементов в почвах установлены только для пахотного слоя культурных ландшафтов. Для природных ландшафтов предельно-допустимых концентраций элементов не существует. Поэтому для оценки распределения содержания элементов в почвах и вычисления их фоновых значений нами использованы методы математической статистики. Все элементы сгруппированы нами по характеру их миграции в природных ландшафтах, согласно классификации А.И.Перельмана на: подвижные и слабоподвижные водные мигранты (В, Li, Be, Ge, Sn, P), подвижные в окислительной и глеевой обстановке (Zn, Cu, Ni, Pb, Ag), подвижные в окислительной и инертные в глеевой обстановках (V, Mo), подвижные в восстановительной глеевой обстановке и инертные в окислительной (Mn, Co) и инертные в большинстве обстановок (Cr, Yb, Ga, Nb, Y, Sc, La).

*Подвижные и слабоподвижные водные мигранты* (В, Li, Be, Ge, Sn, P). Бор энергично мигрирует в природных водах, образуя легко- и труднорастворимые соединения. Li, Be, Ge, Sn, P, как слабоподвижные водные мигранты, образуют труднорастворимые соединения. Бор и фосфор накапливаются в растениях. По содержанию бора в юго-западной, южной, юго-восточной частях района выделяются три участка, где превышены фоновые значения в 1,4 раза. Участки приурочены к почвам, сформировавшимся на отложениях верхней юры и заболоченных поверхностях водоразделов. Превышение фоновых содержаний в почвах объясняется высокими значениями кларков концентраций бора в самих отложениях (Кк = 5,8). В юго-западной части района, на левобережье р. Чимара содержание бора повышается на участке распространения озёрно-болотных и пролювиально-делювиальных отложений (Кк = 3,7). Содержание Ge в юго-западной части района в почвах повышается относительно фона в 4 раза. Это обусловлено тем, что почвы образовались на отложениях верхней юры, в которых содержание Ge характеризуется высоким кларком концентрации.

Содержания Li и Be в южной части района на склоне г. Томтор–Таса в почвах, образовавшихся при выветривании щелочных и нефелиновых сиенитов, повышаются в 2,3 раза и в 2,5 раза соответственно. Повышенные содержания Be в почвах (Кк = 1,6 – 3,0) отмечаются почти во всех частях района. Это объясняется накоплением в почвах продуктов выветривания пород рифея и юры (Кк = 3,5).

Содержания фосфора в западной и северо-западной частях района в почвах в 1,2 раза превышают фоновые значения, где почвы образовались на русловых и озерных отложениях, в пределах развития долинного комплекса аккумулятивных пойм, или на пролювиально-делювиальных отложениях, в границах склоновых комплексов, где содержания P

в 1,3 – 1,6 раза превышают кларковые значения, а в С и С-В частях района в почвах превышают фоновые значения в 1,2 – 2,5 раз. Эти участки приурочены к пролювиально-делювиальным и озёрно-болотным отложениям, а также отложениям плиоцен-эоплейстоценового возраста и породам верхней юры. Они проявляются в пределах развития склоновых комплексов ландшафтов, в отложениях которых P характеризуется повышенными значениями кларка концентрации (Кк = 1,1–2,4). Повышенными концентрациями Sn характеризуются отложения IV надпойменной террасы, озёрной поймы, плиоцен-эоплейстоценового возраста (Кк = 1,6 – 2,8).

*Подвижные в окислительной и глеевой обстановке* (Zn, Cu, Ni, Pb, Ag). Zn, Cu, Ni, Pb – элементы, подвижные в слабокислой среде и менее подвижные - в нейтральной и щелочной. Они осаждаются на щелочном барьере. Ag – подвижный элемент в кислых и щелочных условиях. Для Zn, Cu, Ni, Pb характерно биогенное накопление в почвах. Содержания Zn на северном склоне г. Томтор–Таса, в почвах, образовавшихся на щелочных и нефелиновых сиенитах, в пределах развития ландшафта с деллевым микрорельефом, превышают фоновые значения в 1,5 раза. Содержания Cu в северной части района, южнее озера Магнитное, на площади развития склоновых заболоченных поверхностей повышаются относительно фона в 1,4 раза. Это связано с обогащением почв продуктами выветривания пород нижней и верхней юры распространённых выше по склону, в которых содержание Cu в 1,5 – 1,7 раз превышает кларковые значения. Здесь же в 5,3 раза повышается содержание Ni, что объясняется привнесом в почвы при выветривании щелочных и нефелиновых сиенитов, в которых его содержания превышают кларковые значения в 2,2 раза. В С-В части района, в почвах, образованных на отложениях верхней юры, в пределах надпойменных террас концентрации Ni превышают фоновые в 1,6 раза. Концентрации Ag повышаются севернее озера Магнитное относительно фоновых значений в 3,5 раза, а свинца – в 8,3 раза. Повышение обусловлено выходами выше по склону верхнеюрских пород, плиоцен-эоплейстоценовых и озёрно – болотных отложений. Кларки концентраций в этих породах Pb и Ag составляют 1,2 – 2,1.

*Подвижные в окислительной и инертные в глеевой обстановках.* Осаждаются на глеевых барьерах (V, Mo). Данные элементы более подвижны в щелочной среде, чем в кислой. Могут осаждаться на кислом барьере. Для обоих характерно биогенное накопление в почвах. Наряду с повышением содержаний Pb и Ag, увеличивается в 1,3 раза концентрация Mo и V. Превышения обусловлены, по видимому, размывом плиоцен-эоплейстоценовых отложений и IV надпойменной террасы (Кк V = 1,94, Mo = 1,2). Кроме этого, в долине руч. Курунг–Юрях содержания ванадия в почвах в 1,3 – 2 раза превышают фоновые значения. Здесь почвы сформировались на породах нижней перми и юры, а по-

вышенные содержания V связаны с накоплением в почвах продуктов выветривания щелочных и нефелиновых сиенитов ( $K_k = 5,8$ ). В С-В части района, содержания V в почвах, образовавшихся на отложениях IV надпойменной террасы, превышают фоновые значения в 1,3 раза, что связано с поступлением в верхние горизонты почв глинисто – песчанистого материала озерно – болотных отложений.

*Подвижные в восстановительной глеевой обстановке, инертные в окислительной (Mn, Co).* Для этих металлов характерна коллоидная миграция. Они осаждаются на кислородных барьерах. Mn активно участвует в процессах биогенного накопления. На площади работ содержания Mn повышаются в 1,1 – 2,5 раза относительно фона. В долине р. Чимара содержания повышаются в почвах, сформированных на отложениях высокой поймы и I надпойменной террасы. Из почвообразующих пород содержания Mn увеличиваются только у фойдолитов и сиенитов (соответственно, в 10 и 22 раза). В долине руч. Озёрный, в почвах, образовавшихся на отложениях IV надпойменной террасы, концентрации Co превышают фоновые значения в 1,2 раза. Это связано с поступлением в почвы продуктов выветривания щелочных и нефелиновых сиенитов ( $K_k = 1,2$ ), плиоцен–эоплейстоценовых и озёрно–болотных отложений ( $K_k = 1,9 - 2,2$ ).

*Инертные в большинстве обстановок Cr, Yb, Ga, Nb, Y, Sc, La* характеризуются низкой миграционной способностью. Они почти не образуют воднорастворимых соединений в природных ландшафтах и могут слабо мигрировать с органическими комплексами. Cr, Yb, Ga, Y, La частично мигрируют в сильноокислой среде, Nb – в щелочной. Для Cr характерно биогенное накопление в почвах, содержание его повышается в С-З и Ю-В частях района. В обоих случаях почвы образовались на породах верхней юры. Повышенные значения обусловлены поступлением в почвы продуктов выветривания щелочных и нефелиновых сиенитов ( $K_k = 1,4$ ), пролювиально–делювиальных ( $K_k = 2,6$ ), озёрно–болотных ( $K_k = 3,0$ ) отложений. В долине руч. Озёрный, в геохимической пробе, отобранной из почв, сформированных на отложениях озёрной поймы, содержание Ga повышается относительно фона в 8 раз. Высокие содержания обусловлены размывом и переотложением материала пород плиоцен–эоплейстоценового возраста ( $K_k = 1,6$ ) и озёрно–болотных ( $K_k = 1,3$ ) отложений.

Севернее оз. Магнитное и в долине руч. Курунг–Юрях в почвах, образовавшихся на озёрно–болотных отложениях, в пределах склоновых комплексов ландшафтов, содержание Yb увеличивается в 1,5 раза относительно фона, в самих озёрно–болотных отложениях концентрация Yb в 6,1 раз превышает кларк. Кроме того, размыв и переотложение материала отложений плиоцен–эоплейстоценового возраста ( $K_k = 11,4$ ) и IV надпойменной террасы ( $K_k = 6,0$ ) также способствовали повышению концентрации Yb в почвах. Здесь же, в почвах в

2 раза повышается содержание Y и в 1,3 раза – La. В долине руч. Курунг–Юрях содержание Y в 1,3 раза выше фонового. В южной части района на склоне Томтор–Таса и в районе оз. Боронко содержание в почвах La превышает фоновые значения в 1,3 раза. В северной части площади коэффициент аномальности варьирует 2,5 до 12,0.

В С-З, Ю-В, С-В частях района, в почвах сформированных на породах юры, отложениях IV надпойменной террасы, озёрно–болотных отложениях, в пределах склоновых и водораздельных комплексов ландшафтов, содержания Sc увеличиваются в 1,4 - 3 раза относительно фона. Высокие значения обусловлены обогащением почв продуктами выветривания пород пермского ( $K_k = 3,7$ ) и юрского ( $K_k = 1,4$ ) возраста. Юг района характеризуется преобладанием действия процессов денудации. Здесь, в пределах зоны контакта щелочных пород массива с рифейскими карбонатными толщами, на склоне г. Томтор–Таса, в почвах повышаются содержания Be, Li, Zn, Mn, La, Nb. Данная область повышенных концентраций элементов представляет собой аномалию природного характера, обусловленную обогащением почв продуктами выветривания щелочных пород, за счёт которых они образованы. Положительная корреляция содержаний в почвах отмечается у La с Nb, Mn с Be, Zn с Li и Mn.

В Ю-В части (водораздел руч. Курунг–Юрях и Улахан–Курунг–Юрях) выделяются два участка высокофоновых содержаний Y, V, Be, Yb, Sc. Положительная корреляционная зависимость концентраций элементов в почвах характерна для Yb с Y, Be, Sc и V с Be и Sc. Северная часть района работ характеризуется преобладанием процессов аккумуляции. В районе оз. Магнитное выделяются два участка высокофоновых содержаний в почвах большинства химических элементов. В пределах северного участка повышаются концентрации лантана, ниобия, молибдена, бериллия, фосфора, серебра, свинца, ванадия, олова, иттрия, в почвах южного – лантана, иттрия, фосфора, бериллия, меди, иттербия. Данные участки представляют собой, по всей видимости, аномалии техногенного характера, так как локализируются в пределах контуров месторождений железных руд в катафоритах (месторождение «Онкучах») и каолина в коре выветривания сиенитов и попали в сферу влияния буровых работ НПО «Севморгео». Заражение почв редкими элементами могло произойти шламовым материалом при бурении нескольких десятков скважин, пройденных в 1975–79 г.г. на месторождении «Онкучах». Прослеживается положительная корреляционная зависимость повышения содержания в почве P с Be, Pb с Nb, La, Ag; Yb - с Be и Y; Pb - с Ag и V.

В С-З части в почвах повышаются содержания P, Be, Mn, La, Sc, Cr, Ni. При этом, положительной корреляционной зависимостью характеризуются содержания Sc и P с Be, La с P и Be, Ni с Cr. В С-В части района в почвах выделяются высокофоновые концентрации Be, V, Co, Sc, P, Mn, Ni. Наме-

чающейся корреляционной зависимостью характеризуются содержания Co и V, Sc и Be, P и Be.

Таким образом, в пределах действия процессов денудации в почвах и донных осадках накапливаются преимущественно редкие элементы (Nb, La, Y, Sc, Yb), в почвенных растворах и поверхностных водах преобладают Mn и Zn. В зоне действия процессов аккумуляции в почвах и донных осадках накапливаются преимущественно элементы группы Fe (Mn, Ni, Cr, Co), в меньшей степени – Sc, Be, P. В почвенных растворах и поверхностных водах преобладают Mn, Zn, Ni, высоких концентраций которых в почвах не наблюдается.

**Донные осадки.** Геохимические из пробы донных осадков отбирались для выяснения возможности накопления в них потенциально-токсичных элементов. Донные отложения района сложены преимущественно илистым, суглинистым, супесчаным материалом с примесью гумусового вещества. Средний элементный состав донных отложений определён на основе статистической обработки результатов анализа 313 проб. Содержания элементов в донных осадках в большинстве случаев ниже или соответствуют аналогичным значениям, вычисленным для почв района. Кларки концентраций элементов в донных отложениях близки к значениям в почвах. Как и в почвах, содержания As, Ag, Sb, La, Yb, W, Bi ниже предела чувствительности аналитической аппаратуры, что указывает на отсутствие их накопления в осадках. Таким образом, распределение элементов в донных отложениях также напрямую зависит от их содержания в почвах и почвообразующих породах. Средние содержания элементов в пробах, в основном, не превышают фоновых значений для почв района. Только в 37 пробах повышены относительно фона содержания Li, Be, B, P, Ti, V, Cr, Mn, Nb, Mo, Sc.

В С-З части района, на правом берегу р. Чимара, повышаются относительно фона содержания Be ( $K_k = 1,2-1,7$ ), B ( $K_k = 3,0$ ), Mn ( $K_k = 1,7$ ). Это объясняется поступлением в донные осадки продуктов выветривания пород нижней и верхней юры, отложений плиоцен-эоплейстоценового возраста, выходы которых на дневную поверхность распространены по склону. Эти породы характеризуются относительно высокими значениями кларков концентраций Be (3,5) и B (3,8–5,8). Повышенное содержание в пробах Mn объясняется процессами биогенного накопления его в почвах, так как он присутствует в существенных количествах во всех видах растительности. На левом берегу реки, в донных отложениях в 1,4 раза повышается концентрация Sc, и в 1,2 раза – Be. Увеличение содержания в осадках Sc относительно фона возникает вследствие размыва отложений III надпойменной террасы ( $K_k=1,4$ ). Высокая концентрация Be в донных отложениях обусловлена повышенными содержаниями элемента в почвах участка.

В центральной части района, в пределах уч. Буранный, в донных отложениях ручья Помани-

сточка повышается содержание Ti, по-видимому, вследствие того, что выше по склону обнажаются породы верхней юры, в которых  $K_k = 1,7$ .

В южной части района (верховье р. Онгкучах) в 1,4 – 3,0 раза повышается содержание Nb относительно фона. Это происходит вследствие размыва отложений I надпойменной террасы ( $K_k=1,3$ ). Поступление элемента в осадки связано с северным склоном г. Томтор-Таса, где содержание его в почвах в 2 раза превышает фоновые значения. Этим же объясняется повышенная концентрация ниобия в донных отложениях руч. Курунг-Юрях. При размыве пород верхней юры, в которых концентрации Be в 3,5 раза превышают кларковые, в пробах его содержание в 1,2 раза выше фоновых.

В Ю-В части района (водораздел руч. Пологий – руч. Курунг-Юрях) содержание P в донных осадках повышается в 3 раза, что связано с размывом пород верхней юры и пролювиально-делювиальных отложений ( $K_k$  соответственно равен 1,5; 1,6). В пробах из донных осадков в 1,3-3,0 раза увеличиваются относительно фона концентрации V и Sc, что обусловлено высокими значениями их содержания в почвах.

В С-В части района (бассейн руч. Озёрный) содержания Be и Sc в почвах превышают фоновые значения в 1,3 – 2,5 раза, что определяет увеличение концентрации элемента в донных отложениях. Превышение в некоторых пробах в 1,2-1,3 раза содержания Cг и Mo объясняется поступлением в донные осадки продуктов выветривания озёрно-болотных отложений ( $K_k$  Cг = 3,0) и отложений IV надпойменной террасы ( $K_k$  Cг = 1,6; Mo = 1,2).

**Растительность.** С целью выяснения характера и возможности накопления химических элементов в растениях района Томторского массива, по различным растительным сообществам (древостой, кустарники, кустарнички, разнотравье, мхи, лишайники) было отобрано 1107 биогеохимических проб. Типичная растительная ассоциация района: лиственнично-кустарниково-мохово-лишайниковые редколесья.

В долинах рек, в пределах низкой поймы преобладают кустарниково-разнотравные сообщества с редким лиственничным молодняком. Из кустарников доминирует ива и берёза тощая. На высокой пойме - лиственничный лес, редколесья с ивово-багульниково-лишайниково-моховым покрытием. Фрагментарно появляется голубика. Нижние части придолинных склонов, в пределах надпойменных террас, представлены лиственничными редколесьями с кустарниково-моховым покрытием. Кустарники: багульник, ольха, голубика. На средних и верхних частях склонов развиты лиственничные редколесья с ерниково-моховым, багульниково-моховым покрытием. Пологие склоны водоразделов покрыты лиственничными мохово-лишайниковыми редколесьями. На междельевых пространствах развиты редколесья с ерниково-моховым, багульниково-моховым покрытием. Увлажнённые, пониженные

участки деллей представлены ерниково-ивово-травяными, ерниково-хвоцевыми растительными сообществами, сухие возвышенности - кустарничково-осоково-мохово-лишайниковыми. Заболоченные поверхности эрозионно-термокарстового, термокарстового типа характеризуются осоковыми болотами, с отсутствием древостоя.

Содержания в золе Li, Be, Sc, Co, Ga, As, Y, Nb, Cd, Sn, Sb, La, Ce, Yb, W, Bi, Tl, Ge характеризуются низкими значениями для всех видов растительности. В большинстве случаев их концентрация не превышает предела чувствительности аналитической аппаратуры. Содержание этих элементов в почвенных растворах также характеризуются низкими значениями, либо полным отсутствием. Такие элементы как U, Th, Ta, Hg, In, Au в золе растений не обнаружены.

Основными элементами-накопителями для всех видов растительности района Томторского массива являются В, Р, Мп, Zn, в меньшей степени - Ti, V, Cr, Ni, Cu, Pb, Ag, Mo. В, Р, Мп, Zn, по всей видимости, являются жизненно необходимыми для всех растительных сообществ района. Содержание микроэлементов в лиственнице было определено на основе анализа 236 проб отобранных равномерно по всему району. В пробы отбиралась, в основном, хвоя и частично кора растений. В хвое лиственниц преобладают Р и Мп, в меньшем количестве В и Zn. Для коры лиственниц характерно преобладание Мп и Zn. По отношению к хвое в коре лиственниц незначительно увеличивается содержание Cu, Ti, Ag, Pb, Li, Sc.

Из кустарников в пробы отбиралась литья и ветки карликовой берёзы (130 проб), литья ольхи (71 проба) и литья ивы (36 проб). Литья и ветки берёзы, ольхи, ивы характеризуются преобладанием Мп и Zn. Причём, в ветках берёзы преобладает Zn, а в литьях ольхи, ивы, берёзы - Мп. В литьях ольхи, ивы, берёзы незначительно повышается относительно других видов растительности содержание Cd.

Химический состав кустарничков охарактеризован 68 пробами. Как для кустарников, так и для древостоя отмечается преобладание Мп. В литьях голубики увеличивается, по отношению к другим видам растительности, содержание Р и Zn.

Элементный состав травяных сообществ определён на основе результатов спектрального анализа 181 биогеохимической пробы. Во всех видах трав преобладает Р. В осоке увеличивается содержание Мп и Zn, значительно повышается содержание Мо по отношению к другим видам растительности района.

Мхи и лишайники являются основными сорбентами, и в целом характеризуют современное экологическое состояние природной среды района работ. Микроэлементный состав мхов определён на основе результатов анализов 322 проб, из которых 12 проб были отобраны по водному мху. Лишайники охарактеризованы по 63 биогеохимическим про-

бам. Во мхах и лишайниках преобладают Р, Мп, Zn. По отношению к другим видам растительности района в них увеличиваются содержания Li, Sc, Ga, Y, Nb, Sn, Yb, Pb. В водных мхах значительно увеличивается содержание V, Cr, Ni, Sb, Bi, Tl.

**Поверхностные воды.** Поверхностные воды района работ приурочены к бассейнам трёх основных водотоков: р.р. Чимара, Онгкучах, Уджа (её левые притоки – руч. Улахан-Курунг-Юрях, Курунг-Юрях, Озёрный).

Питание водотоков происходит весной, летом, осенью за счёт таяния снега, почвенно-грунтового, текстурообразующего льда и выпадения атмосферных осадков, максимальное количество которых приходится на июль, август, сентябрь. По ионному составу воды гидрокарбонат-хлоридные ( $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ ), Na-Mg-Ca ( $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ ), ультрапресные, с низким содержанием растворённых минеральных веществ (общая минерализация до 0,2 г/л), пригодные в качестве питьевой воды. По кислотности-щелочным свойствам (рН в пределах 6,4 – 6,8) воды характеризуются нейтральным, слабощелочным типами реакций. Воды неблагоприятны для миграции большинства металлов, которые из них осаждаются в виде труднорастворимых гидроокислов, карбонатов, и других солей. Некоторые из металлов (Zn, Мп, Ni, в меньшей степени Sr, Pb и V) мигрируют энергично в форме растворимых металлоорганических соединений. Высокое содержание данных элементов в поверхностных водах обусловлено процессами биогенного накопления их в почвах. Воды прозрачные светло-жёлтого, жёлтого цвета. В верховьях водотоков и на переувлажнённых, заболоченных участках – коричневого, местами тёмно-бурого цвета с повышенным содержанием растворённого органического вещества гумусового ряда.

Содержания большинства обнаруженных в пробах элементов (Cu, Pb, Ni, Sb, Мп, Cd, Ag, Bi, Li, Rb, Cs, Mo, Cr, As, Hg) ниже предела чувствительности аналитической аппаратуры и не превышают установленных норм ПДК. В некоторых пробах концентрации Zn, Ni, Мп, Sr, K, Pb характеризуются аномальными значениями. На площади района такие содержания природного характера отмечаются только в верховьях водотоков, в пределах заболоченных поверхностей, характеризующихся слабым стоком, и обусловлены повышенной концентрацией в водах растворённого органического вещества.

*Река Чимара (южный участок)* характеризуется фоновыми значениями в гидропробах Мп, Zn, Ni, Pb, Sr, K, что не превышает ПДК и лишь в одной пробе, отобранной из левого притока ручья Хадыга в приустьевой части, где влияние массива Томтор полностью отсутствует, концентрация никеля в 2 раза выше предельно-допустимых норм и в южной части района в 1,4 раза повышается содержание цинка. Распределение содержаний Ni, Мп, Pb в пробах по продольному профилю реки имеют прямоли-

нейный вид, либо стремящийся к прямолинейности (Zn). Содержание Pb в пробах по профилю составляет 0,015 мг/л. На участке пересечения реки с отложениями волжского яруса верхней юры, концентрация свинца повышается до 0,05 мг/л. В самих отложениях содержание элемента характеризуется повышенными значениями кларков концентраций ( $K_k = 1,3$ ). Содержание Ni, Mn в гидропробах составляет соответственно 0,01 и 0,004 мг/л. В конце профиля, в пределах пересечения отложений четвертичного возраста (I, II надпойменных террас, озёрно-болотных отложений) концентрация элементов незначительно повышается. Кривые распределения содержаний Sr и K имеют взаимно противоположный вид. В точках максимумов по Sr отмечаются минимальные содержания K, и наоборот. Значения Sr повышаются в пробах на участке пересечения водотока с отложениями четвертичного возраста, а K на площади распространения вендских пород. Отложения IV надпойменной террасы характеризуются повышенными содержаниями Sr ( $K_k = 2,32$ ). Распределение содержаний Zn в гидропробах характеризуется слабоволнистой кривой, со сглаженными максимумами и минимумами. Значения повышаются на участке распространения отложений пермского и юрского возраста, в которых его концентрация превышает кларки в 1,7 раз.

В целом для района месторождения почвообразующие породы и почвы характеризуются повышенными содержаниями редких элементов (Y, Nb, Mo, La, Yb, W, Sc), рудных элементов (Cu, Zn, Ga, Ge, Ag, Sn, Pb) и элементов группы Fe (Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni). В донных осадках и растительности накапливаются преимущественно элементы группы Fe (Ti, V, Cr, Mn, Ni). При этом, в донных осадках концентрируются также редкие элементы (Nb, Mo, Sc), а в растительности – Zn, Ag, Pb. Поверхностные воды характеризуются содержанием элементов группы Fe (Mn, Ni) и рудных элементов (Zn, Pb). Опасными по токсичности могут быть, в зависимости от степени концентрации В, Pb, Mo, Sr, Mn, Ni, Zn. Но, в целом, район месторождения, включая участки высокофоновых содержаний элементов, является всё же фоновым с точки зрения экологической безопасности, поскольку не оказывает вредного влияния на развитие окружающей среды (растительного и животного миров). Концентрации упомянутых элементов имеют исключительно природное происхождение.

**Радиационная характеристика месторождения.** В зоне гипергенеза пород карбонатитового комплекса массива Томтор локализуется комплексное месторождение редких элементов: Nb, Y, Sc и REE. Присутствие естественных радиоактивных элементов (U и Th) в корках выветривания обуславливает их высокую естественную радиоактивность, достигающую 2000 мкр/ч. Остальные разновидности пород имеют радиоактивность не выше 50-100 мкр/час. С целью выявления участков природного и

техногенного заражения почв радионуклидами, при выполнении работ одновременно с геохимическим опробованием производились замеры радиоактивности поверхностного слоя почв на всём протяжении геологических маршрутов с равномерным охватом всей площади района.

По результатам измерений интенсивность радиоактивности почв на поверхности современного эрозионного среза Томторского массива изменяется в пределах 2 – 22 мкр/ч. Наиболее низкие значения радиоактивности отмечаются в северной части района, в пределах склоновых и долинных ландшафтных комплексов, где процессы аккумуляции преобладают над денудацией. Почвы, сформировавшиеся на современных отложениях (пойменные русловые и озёрные отложения, озёрно-болотные и пролювиально-делювиальные отложения), характеризуются значениями интенсивности радиоактивности в пределах 2–9 мкр/ч, причём, наиболее низкие значения отмечаются в северо-восточной и северо-западной части района (2–4 мкр/ч) на площади распространения озёрно-болотных и пролювиально-делювиальных отложений. Почвы, образовавшиеся на отложениях древних надпойменных террас и за счёт выветривания пород вендского, пермского, юрского возраста (преимущественно водораздельные ландшафты), характеризуются значениями радиоактивности в пределах 5–15 мкр/ч.

В южной части района почвы, сформировавшиеся за счёт выветривания магматических пород (сиенитов, фойдолитов, пород альнеит-тингвайтовой серии), характеризуются относительно повышенными значениями радиоактивности в пределах 7–22 мкр/ч. Данные участки локализируются в границах северного склона г. Томтор – Таса, где преобладают процессы денудации. Радиоактивные элементы в почвах не обнаружены. Анализ пространственного распределения концентраций редких элементов в почвах района выявил определённую зависимость повышения радиоактивности на участках высокофоновых содержаний данных элементов. Контурсы высокофоновых содержаний ниобия, иттрия и др. элементов в почвах района совпадают с участками повышенной радиоактивности почв, что может свидетельствовать о положительной корреляционной связи редких и радиоактивных элементов. Значения радиоактивности на этих участках изменяются в пределах 19 – 22 мкр/ч и имеют природное происхождение.

В целом на участке Буранный высоких значений радиоактивности почв не отмечается. Естественная радиоактивность изменяется в пределах 9 – 15 мкр/ч, что может свидетельствовать об отсутствии техногенного заражения почв радионуклидами в период проведения поисковых и разведочных работ.

**Оценка воздействия отработки руд на окружающую природу.** Поскольку большинство химических элементов рудного пласта являются инертными водными мигрантами и присутствуют в

составе минеральных соединений, трудно растворимых, а зачастую вообще нерастворимых в воде, миграция их возможна лишь в коллоидном и взвешенном состоянии преимущественно в период паводков. Учитывая способ отработки месторождения, при котором руда будет извлекаться из недр с затариванием в контейнеры и отправкой на гидрометаллургическую переработку, влияние ее на окружающую природу будет незначительным и его нетрудно избежать, применяя элементарные методы осторожности на рудном дворе (предотвращение просыпания и попадания в водоемы).

Породы вскрыши являются практически экологически безопасными. Включения рудного материала во вскрышных породах отмечаются только вблизи подошвы юрских и пермских отложений, непосредственно перекрывающих рудный горизонт, и в контурах карьера практически не встречаются. При возможном вскрытии карьером эти породы, также представляющие собой забалансовые руды, должны складироваться отдельно от пород вскрыши совместно с забалансовыми рудами.

Экологически опасными в рудах могут быть повышенные концентрации цинка, стронция, бария, тория (табл. 1). Стронций и барий в резко восстановительной геологической обстановке на глубоких горизонтах интенсивно выщелачивались из коренных пород и кор выветривания руд и переотлагались в виде стронций-редкоземельных сульфатов и фосфатов, образуя при этом зоны вторичного обогащения [6,17]. Сульфаты стронция и редких земель, слагающие основной объем переотложенных руд рудного пласта в пределах участка Буранный, способны лишь частично растворяться в воде и переноситься водными потоками.

Особую опасность при разработке месторождения представляет заражение поверхностного слоя почв химическими элементами с повышенными токсичными и радиоактивными свойствами (Th, U, Tl, Rb, Cs, Sr), содержащимися в высоких концентрациях в кондиционных рудах и присутствующих в невысоких концентрациях в забалансовых рудах (табл. 1). Для предотвращения попадания их в водотоки и рассеивания следует применять меры повышенной безопасности при затаривании контейнеров, а складирование сохранных отвалов производить в пониженные естественные местности рельефа (бессточные озера и заболоченные участки) на водоразделе рек Онкучах и Поманисточка. При подземном способе отработки месторождения попадание вредных веществ в поверхностный слой почв и донные осадки возможно только от вентиляционного выброса из шахты. При высоте вентиляционной трубы 10 м загрязнение окружающей местности незначительно, поскольку санитарно-защитная зона ограничивается радиусом 300 м от вентиляционного выброса. В этой зоне не допускается никакой хозяйственной деятельности.

При открытой отработке, опасность заражения прилегающей к карьере площади токсичными, радиоактивными элементами и тяжелыми металлами связана преимущественно с эоловым переносом минеральных частиц при естественном выносе их при проветривании карьера и сохранных отвалов. В пределах района Томторского массива в течение года преобладают ветра субмеридионального северо-северо-западного и юго-юго-восточного направлений, что непосредственным образом влияет на форму и размеры будущего карьера, а также обуславливает направление возможного эолового разноса тонких частиц из карьера и отвалов вскрышных горных пород и забалансовых руд.

Проектируемый карьер с незначительными размерами (200x400 м) и средней глубиной 40 м создаст в породах прибортовую зону, в той или иной мере затронутую горно-добычными работами, объемом около 1 млн. м<sup>3</sup>. При этом образование искусственных обнажений горных пород и руд создаст условия для воздействия атмосферных агентов, поверхностных вод, температуры и целого ряда техногенных факторов. На бортах проектируемого карьера образуются новые техногенные обнажения площадью около 10 млн. м<sup>2</sup>. Объемы внутренних и внешних отвалов составят около 1 млн. м<sup>3</sup> (вскрышных пород) и 0,1 млн. м<sup>3</sup> - забалансовых руд.

Для определения степени воздействия на окружающую среду большое значение имеет местоположение карьера и отвалов, а также максимальное расстояние их влияния. При организации карьера на участке Буранный максимально возможное влияние вследствие эолового и сезонного паводкового разноса вскрышных пород и забалансовых руд из отвалов не превысит 10-кратного размера карьера, то есть, не превысит 2 - 3 км (в среднем, 2,5 км). При этом в определенной мере негативное воздействие, оказываемое на окружающую среду, будет вызвано только забалансовыми рудами, объем которых на 10-й год работы карьера не превысит 100 тыс. м<sup>3</sup>, а дальность разноса пылеватых частиц этих руд не превысит 1 км. При этом следует учитывать, что основные рудные минералы, концентрирующие тяжелые, радиоактивные и токсичные элементы (монацит, пирохлор, ксенотим и др.), как правило, имеют максимальный удельный вес, и их перенос при ветровой эрозии будет гораздо меньшим в сравнении с порообразующими минералами (гидрослюды, каолинит, монтмориллонит и др.) и составит гораздо менее 1 км. В целом, негативному влиянию от отработки месторождения может подвергнуться территория в радиусе, максимум, 2,5 км от карьера, включая карьер, горнорудное предприятие, отвалы вскрышных пород и сохранные отвалы забалансовых руд.

Однако, с целью учета всевозможных непредвиденных обстоятельств (стихийных бедствий, наводнений, ураганов, смерчей и проч.), размер ох-

**Таблица 2**  
Средний элементный состав почв в районе Томторского месторождения (по результатам спектрального анализа 1243 проб)

№ п/п	Элемент	Содержание, вес. %	Множитель	Кларк в земной коре (по Виноградову)	Кларк концентрации
1	Li	4,80	-3	3,20	1,5
2	Be	0,30	-3	0,38	0,8
3	B	2,34	-3	1,20	1,9
4	P	6,06	-2	9,30	0,7
5	Sc	1,65	-3	1,00	1,6
6	Ti	6,49	-1	4,50	1,4
7	V	7,95	-3	9,00	0,9
8	Cr	9,04	-3	8,30	1,1
9	Mn	6,44	-2	10,00	0,6
10	Co	1,37	-3	1,80	0,8
11	Ni	3,36	-3	5,80	0,6
12	Cu	2,50	-3	4,70	0,5
13	Zn	6,82	-3	8,30	0,8
14	Ga	1,78	-3	1,90	0,9
15	Ge	1,02	-4	1,40	0,7
16	As	1,51	-3	0,17	8,9
17	Y	4,68	-3	2,00	2,3
18	Nb	1,85	-3	2,00	0,9
19	Mo	1,67	-4	1,10	1,5
20	Ag	1,10	-5	0,70	1,6
21	Sn	2,02	-4	2,50	0,8
22	Sb	0,61	-3	0,05	12,2
23	La	0,26	-2	0,29	0,9
24	Ce	0,51	-2	0,70	0,7
25	Yb	3,75	-4	0,33	11,4
26	W	0,27	-3	0,13	2,1
27	Pb	1,47	-3	1,60	0,9
28	Bi	0,58	-4	0,01	64,2
29	Tl	0,50	-4	1,00	0,5

ранной зоны вокруг месторождения следует принять двукратно превышающей максимально возможную дальность негативного влияния воздействия на окружающую природу от его отработки (радиус составит 5 км). Поскольку площадь возможного влияния, вызываемого отработкой месторождения, принадлежит только бассейну реки Онкучах (водоток третьего порядка бассейна р. Анабар), то прямого влияния на реки Чимара, Уджа, Анабар и другие водотоки С-З Якутии не произойдет.

**Экологические проблемы и мониторинг окружающей среды.** Благоприятные геологические условия локализации рудного пласта позволяют отрабатывать месторождение как подземным, так и открытым способами [4]. Однако, при освоении месторождения отработка его будет связана с многочисленными проблемами, главными из которых являются геоэкологические.

**Таблица 3**  
Средний элементный состав донных осадков в районе Томторского месторождения (n = 313 проб)

№ п/п	Элемент	Предел чувствительности	Среднее содержание в пробах (вес%)	Множитель	Среднее содержание в земной коре (кларк по А.П.Виноградову)	Кларк концентрации
1	Li	3	3,94	-3	3,2	1,2
2	Be	0,5	0,29	-3	0,38	0,8
3	B	1	2,12	-3	1,2	1,8
4	P	3	5,75	-2	9,3	0,6
5	Sc	2	1,42	-3	1,00	1,4
6	Ti	0,01	6,09	-1	4,5	1,4
7	V	0,1	6,50	-3	9,0	0,7
8	Cr	0,3	7,42	-3	8,3	0,9
9	Mn	0,1	7,25	-2	10,0	0,7
10	Co	0,1	1,13	-3	1,8	0,6
11	Ni	0,3	2,33	-3	5,8	0,4
12	Cu	0,1	2,16	-3	4,7	0,5
13	Zn	1	6,59	-3	8,3	0,8
14	Ga	0,1	1,55	-3	1,9	0,8
15	Ge	1	0,93	-4	1,4	0,7
16	As	3	1,51	-3	0,17	8,9
17	Y	3	3,70	-3	2,0	1,9
18	Nb	1	1,77	-3	2,0	0,9
19	Mo	0,3	1,49	-4	1,1	1,4
20	Ag	1	0,98	-5	0,7	1,4
21	Sn	1	1,48	-4	2,5	0,6
22	Sb	1	0,59	-3	0,05	11,8
23	La	0,3	0,21	-2	0,29	0,9
25	Yb	5	3,34	-4	0,33	10,1
26	W	0,5	0,26	-3	0,13	2,0
27	Pb	0,1	1,28	-3	1,6	0,8

После завершения разведки Буранного участка в районе Томторского месторождения были проведены специализированные эколого-радиометрические исследования. В результате этих работ были установлены основные оценочные геохимические параметры и определен естественный радиационный фон, которые в целом не вызывают проблем для отработки месторождения (табл. 2-5). Однако при отработке месторождения возникают экологические проблемы, заключающиеся в предотвращении попадания руды в водотоки района, что напрямую связано с обеспечением сохранности некондиционных руд, складированных отдельно в сохранные отвалы. При хранении забалансовых руд в сохранных отвалах из них неизбежен разнос (эоловой, снеговой, дождевой) тонких пылеватых частиц руды и попадание их в почву, растительность и, в конечном итоге, в современную гидросеть. Поэтому проектируемому горнодобывающему предприятию необходимо проводить мониторинг окружающей среды.

Таблица 4

## Характеристика поверхностных вод в районе Томторского месторождения

№ п/п	Место отбора проб	РН	Сумма минеральных веществ	Физические свойства				Минерализация (г/л)	Формула солевого состава	SiO <sub>2</sub> (мг/л)
				Прозрачность	Вязкость	Цвет	Запах			
1	Оз. Магнитное, левый склон р. Онгкучах	6,6	86,52	Мутный	Нет	б/ц	б/з	0,08	$\text{HCO}_3$ 91.60 Cl 8.39 $\text{NO}_3$ 0.04 Na 83.94 Mg 12.21 Ca 3.05 $\text{NH}_4$ 0.76	6
2	Руч. Поманисточка, 3 км выше устья	6,8	158,81	Прозрачн.	Нет	Желтый	б/з	0,16	$\text{HCO}_3$ 92.11 Cl 7.89 Na 78.62 Mg 7.89 Ca 6.58 $\text{NH}_4$ 5.59 $\text{Fe}^{3+}$ 1.32	20
3	Руч. Пологий, 3,8 км выше устья	6,4	142,64	Прозрачн.	П/вяз	Желтый	б/з	0,14	$\text{HCO}_3$ 88.89 Cl 11.11 Na 83.7 Mg 8.89 Ca 2.96 $\text{NH}_4$ 2.96 $\text{Fe}^{3+}$ 1.48	20
4	р. Онгкучах, 2,85 км выше устья руч Пололого	6,8	114,45	Прозрачн.	Нет	Желтый	б/з	0,11	$\text{HCO}_3$ 89.29 Cl 10.71 Na 63.84 Mg 21.43 $\text{NH}_4$ 7.58 Ca 7.14	20
5	р. Чымара, 7,2 км ниже устья р. Хадыга	6,8	201,01	Прозрачн.	Нет	Желтый	б/з	0,2	$\text{HCO}_3$ 94.24 Cl 5.76 Na 87.96 Mg 6.28 Ca 4.19 $\text{NH}_4$ 1.57	8

Основные экологические проблемы освоения Томторского месторождения встанут на этапе гидрометаллургического передела руд, поскольку именно он связан с использованием химически опасных реагентов (кислот, щелочей и других активных реагентов) при получении товарных продуктов и захоронении вредных, радиоактивных и токсичных отходов переработки. По совокупности технологических, экономических и экологических показателей, наиболее предпочтительным для гидрометаллургической переработки руд является Красноярский горно-химический комбинат (КГХК, г. Железногорск), на площадке которого предусматривается переработка руд с получением конечной товарной продукции.

### Заключение и выводы

Томторское месторождение Nb-TR руд, Р и Fe в коренных карбонатах и их корах выветривания имеет колоссальные размеры и ресурсы. На месторождении выявлены, разведаны и учтены ГКЗ пироклор-монацит-крандаллитовые руды нового геолого-промышленного типа комплексных ниобий-редкоземельных руд. Практическая значимость нового типа руд определяется набором, запасами, и содержаниями Nb, Y, Sc, TR, присутствующими в весьма высоких концентрациях. Целесообразность отработки месторождения очевидна вследствие близости алмазных россыпей р. Эбелях, промышленных месторождений углей и возрастающей потребности отечественного рынка в редких элементах. Освоение этого региона создаст горнодобывающий комплекс, что благоприятно отразится на экономике Якутии. Комплексная оценка месторождения, базирующаяся на результатах технико-экономических расчетов

отработки участка первой очереди, показала рентабельность отработки месторождения, освоение которого сталкивается с рядом проблем, главными из которых являются:

**1. Радиоактивность.** Руды являются радиоактивными, природу радиоактивности обуславливают U, Th и <sup>40</sup>K. Содержания U составляют 0,0018 - 0,0892%, Th - 0,0191 - 0,3044%, эквивалент содержания Ra - 0,0302-0,4656% (табл.6). Радиологические характеристики богатых пироклор-монацит-крандаллитовых руд несколько значительно выше пород вскрыши и сопоставимы с породами подошвы. Это дает основание при оценке удельной активности, расчете ожидаемых доз внешнего и внутреннего облучения, выборе допустимых уровней, определения класса работ руководствоваться НРБ-76/87 и ОСП-72/87, как при работе с радиоактивными рудами. Ограничений по радиоактивности на транспортировку руд подобного класса радиоактивности не имеется.

**2. Горнотехнические проблемы.** Благоприятные условия залегания руд позволяют обрабатывать их карьером. Руды представляют собой глиноподобные породы с прожилками льда, влажностью 21,13% и объемным весом – 2,22т/м<sup>3</sup>. Породы вскрыши - рыхлые образования чехла, юрские морские и пермские терригенные отложения (10-35м); подошва сложена льдистыми породами коры выветривания, представляющими собой комплексные руды Nb, TR, Р и Fe. Проектируемая мощность карьера составляет 10 тыс. т. сухой руды (12,7 т в естественном состоянии) в год. Принятый способ отработки не бесспорен, поскольку опыт работы такого карьера отсутствует. Мерзлое состояние руды и вмещающих пород приведут к оползанию бортов карьера. В

связи с этим не менее предпочтительным выглядит подземный вариант с летней консервацией шахтного ствола, или же экспериментальная траншейная отработка с полной последовательной закладкой выработанного пространства, что необходимо опробовать, как и возможность улучшения качества руд применением предварительного обогащения.

**3. Технологические проблемы.** Руды представляют собой смесь двух концентратов (монацитового и пироклорового) и сложны для механического обогащения. Разработанная технология переработки руды предусматривает двухстадийную схему вскрытия руды: щелочное разложение с выведением  $P_2O_5$  в головке процесса и последующее кислотное вскрытие с хлорированием твердого остатка и экстракцией  $TR_2O_3$ . Это позволяет получить в виде товарных продуктов  $Nb_2O_5$ ,  $Sc_2O_3$ ,  $Y_2O_3$  и  $TR_2O_3$  (в том числе  $La_2O_3$ ,  $CeO_2$ ,  $Pr_2O_3$ ,  $Nd_2O_3$ ,  $Sm_2O_3$ ,  $Eu_2O_3$ ,  $TiO_2$  и частично  $Al$ ), а также  $P$ ,  $Va$  и  $Sr$  при вовлечении в полезную переработку около 75% компонентов руды. Расход реагентов на переработку 1 т руды составляет 0,9т. с получением твердых (0,812 т), в т.ч. радиоактивных (0,062 т) отходов. Жидких отходов не предусмотрено. Полупромышленные и заводские испытания проб не проводились.

**4. Геолого-экономические проблемы** обусловлены уникальными по количеству и качеству запасами руд, отсутствием реального спроса на товарную продукцию в России и нестабильностью цен мирового рынка на  $TR_2O_3$ . Стоимость товарной продукции принята на уровне или ниже минимальных мировых цен. Суммарная стоимость годовой товарной продукции по минимальному варианту составляет 20 млн. долл., однако при максимальных ценах она возрастает в 2,5 – 5 раз. Утвержденные ГКЗ запасы руды в контурах карьера участка первоочередной отработки по борту  $Nb_2O_5$  3,5% составляют 1178,4 тыс. т. при содержании  $Nb_2O_5$  -6,71%,  $Y_2O_3$  -0,595%;  $Sc_2O_3$  -0,048%,  $TR_2O_3$  -9,53%. Срок отработки участка более 100 лет при окупаемости основных фондов предприятия при различных расчетах за 4-7 лет. Улучшение показателей (в 1,2-1,5 раза) возможно при предварительном рентгенометрическом обогащении с улучшением качества руды.

**5. Экологические проблемы.** Проведенные эколого-радиометрические исследования, в результате которых установлены основные оценочные геохимические параметры и естественный радиационный фон, подтвердили принципиальную возможность начала эксплуатации месторождения. Однако при отработке его возникнут собственно экологические проблемы, заключающиеся в необходимости отдельного хранения вскрышных пород и некондиционных руд в сохранных отвалах, из которых неизбежен разнос (эоловый, снеговой, дождевой) тонких частиц руды и попадание их в современную гидросеть, что обуславливает необходимость мониторинга среды. Основные экологические проблемы с руды.

Таблица 6

## Средние содержания тория и урана в породах и рудах массива Томтор

№ п/п	Литолого-вещественные петрологические комплексы (разновидности), пород и руд	Количество проб, шт.	Средние содержания, г/т		Отношение Th/U
			Th	U	
1	Песчано-глинистые отложения нижней юры	5	15,2	4	3,8
2	Угленосные терригенные образования перми, перекрывающие рудный пласт	162	221	24	14,3
3	Переотложенная кора выветривания каолинит-крандаллитового горизонта (рудный пласт)	888	1438	65	52,3
4	Сидеритовый горизонт, подстилающий рудный пласт	251	754	31	59,2
5	Гетитовый горизонт	42	425	5	116,8
6	Франколитовый горизонт	31	581	72	38,7
7	Плащевая (гидрослюдистая) кора выветривания	28	132,9	14,1	9,4
8	Эксплозивные карбонатитовые брекчии	20	640,5	13,7	46,8
9	Карбонаты редкометальные (анкеритовые)	33	738,3	6	124,3
10	Карбонатиты фосфорно-редкометальные (полиминеральные)	109	106,4	7,1	15,0
11	Карбонатиты безрудные (кальцитовые и доломит - кальцитовые)	50	73,1	7,9	9,3
12	Комплекс силикатных пород (сиениты, фойдолиты)	46	39	5	8,8
Всего, проб		1665			

Примечание. Результаты количественных определений тория и урана получены рентгеноспектральным (ВИМС, ПГО "Приленскеология", ТУГРЭ), люминесцентным с лазерным возбуждением (ЦЗЛ КГХК) и нейтронно-активационным (ЦЗЛ КГХК) методами в групповых пробах, отобранных на поисково-оценочной и разведочной стадиях работ (1985 -1997 г.г.).

дами возникнут при гидрометаллургическом переделе руд и захоронении радиоактивных и токсичных отходов переработки. По комплексу показателей наиболее предпочтительным для переработки руд является Красноярский ГХК, на площадке которого и предусматривается гидрометаллургический передел.

## ЛИТЕРАТУРА

- Толстов А.В. Особенности минералогии и геохимии апатит-магнетитовых руд массива Томтор (Северо-западная Якутия) // Геология и геофизика. -1994. -№9. -С. 91.
- Толстов А.В. Эксплозивные карбонатитовые брекчии массива Томтор // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. -1997. -№4. -С. 88-94.
- Кравченко С.М. и др. Скандиево-редкоземельно-иттриево-ниобиевые руды — новый тип редкометального сырья // Геология рудных месторождений. -1990. -Т. 32, №1. -С. 105-109.
- Толстов А.В. Геологическое строение, состав и рудоносность кор выветривания массива Томтор: Дис. ... канд геол.-минер. н. -М., 1996. -149 с.
- Толстов А.В., Тянь О.А. Геология и рудоносность массива Томтор. -Якутск, 1999. -164 с.
- Лапин А.В., Толстов А.В. Окислительный и восстановительный этапы формирования зоны гипергенеза карбонатитов и их рудоносность // Геология рудных месторождений. -1991. -№4. -С.103-109.
- Толстов А.В. Проблемы геолого-экономической оценки Томторского месторождения // Матер. междунар. симп: Стратегия использования и развития минерально-сырьевой базы редких металлов в XXI веке. -Москва, 1998. -С. 135-137.
- Лапин А.В., Толстов А.В. Новые уникальные месторождения редких металлов в корях выветривания карбонатитов // Разведка и охрана недр. -1993. -№3. -С.7-11.
- Коноплев А.Д., Толстов А.В. и др. Геологическое строение и минералого-геохимические особенности редкометальных руд месторождения Томтор // Матер. X Междунар. совещ.: Россыпи и месторождения кор выветривания — объект инвестиций на современном этапе. -М., 1994. -С.131-132.
- Зуев В.М., Толстов А.В. и др. Геологическое строение, вещественный состав, типы руд Томторского редкометально-редкоземельного месторождения // Тез. Междунар. конфер. "Редкоземельные металлы: переработка сырья, производство соединений и материалов на их основе". -Красноярск, 1995. -С. 15-18.
- Толстов А.В., Солопанов А.Т. Первые данные по гидрогеологии массива Томтор // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. -1997. -№3. -С. 134-138.
- Энтин А.Р. и др. О химизме пироксенов карбонатитового массива Сибири // Минералогические аспекты металлогении Якутии. -Якутск, 1990. -С.142-152.
- Коноплев А.Д., и др. Геолого-минералогические особенности делювиально-озерной россыпи на коре выветривания редкометальных карбонатитов // Минералогия и геохимия россыпей. -М., 199. -С. 111-124.
- Коноплев А.Д., Толстов А.В. и др. Особенности локализации редкометального оруденения на месторождении Томтор // Редкометально-урановое рудообразование в осадочных породах. -М., 1995. -С. 223-241.
- Толстов А.В. и др. Промышленные типы месторождений в карбонатитовых комплексах Якутии. -Якутск, 1995. -168 с.
- Экологическая оценка рудных месторождений по токсичным соединениям (на примере месторождений золота, олова, вольфрама, железа, хромитов, редких элементов и флюорита). -М., 1999. -51 с.
- Лапин А.В., Толстов А.В. Месторождения кор выветривания карбонатитов. -М., 1995. -208 с.