



ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В РАЙОНЕ ДЕПУТАТСКОГО ОЛОВОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЯКУТИЯ)

М. М. Шац, В. Н. Макаров

Институт мерзлотоведения СО РАН, Якутск, Россия

Освещено состояние оловодобывающей отрасли в Якутии, в частности на крупнейшем месторождении олова – Депутатском. Охарактеризованы природные условия территории, их экстремальность в климатическом, геолого-геоморфологическом и геокриологическом отношениях. Показана масштабность и специфичность последствий отработки месторождения, характер и своеобразие воздействия на отдельные компоненты природной среды. Высказано мнение о нецелесообразности ограничений в дальнейшей отработке месторождения при условии создания и реализации системы природоохранных и компенсирующих мероприятий, позволяющих сохранить эффективную добычу олова с минимальным ущербом для северных геосистем. Это будет способствовать возрождению оловодобывающей отрасли республики.

Ключевые слова: олово, Депутатское месторождение, геоэкология, окружающая природная среда, добыча полезных ископаемых, охрана природы.

GEOECOLOGICAL CONDITIONS IN THE AREA OF THE DEPUTATSKOYE TIN ORE DEPOSIT (NORTH-EASTERN YAKUTIA)

M. M. Shats, V. N. Makarov

Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, Russia

The article highlights the state of the tin mining industry in Yakutia and in the largest tin deposit – Deputatskoye, characterizes natural conditions of the development territory, their extremity in climatic, geological, geomorphological and geocryological relations. The scale and specificity of consequences of mine development, nature, originality of the impact on individual components of the natural environment are shown. The opinion is expressed about the inexpediency of restrictions in further mine development provided that a system of nature protection and remedial measures is created and implemented to maintain an effective tin mining with minimal damage for northern geosystems. This will contribute to the revival of the tin mining industry of the republic.

Keywords: tin, deposit, Deputatskoye deposit, geoecology, natural environment, mineral extraction, nature protection.

DOI 10.20403/2078-0575-2022-4-55-63

Олово является одним из важнейших полезных ископаемых, задействованных в народном хозяйстве РФ.

Значительный рост спроса на бытовую электронику, особенно в Китае, Тайване, Южной Корее и Соединенных Штатах, стимулирует рынок олова, что, в свою очередь, обеспечивает поддержку установившихся высоких цен на металл. Его запасы в недрах нашей страны превышают 2 млн т, сконцентрированы восточнее Урала – в пределах Иркутской и Магаданской областей, Забайкальского, Хабаровского и Приморского краев, Республики Якутии и Чукотского автономного округа. Подобная асимметрия в распространении объясняется геологическими особенностями образования месторождений олова, локализованных в шести металлогенических провинциях – Байкальской, Забайкальской, Яно-Индибирской, Хингано-Охотской, Сихотэ-Алиньской и Чукотской [10, 11].

Сложное геологическое строение территории Республики Саха (Якутия) определило многообразие видов полезных ископаемых в ее недрах. Основной минерально-сырьевой базы республики являются крупные и уникальные месторождения угля,

нефти, газа, железных руд, полиметаллов, олова, сурьмы, ниобия, тантала, редкоземельных элементов, золота, серебра, урана и алмазов.

Освоение всех этих богатств требует знания и всестороннего учета экстремальных природных условий. При этом особое внимание должно уделяться инженерно-геологическим, в том числе геокриологическим, и геоэкологическим материалам, обуславливающим специфику отработки месторождений. Интенсивно возрастающие темпы добычи полезных ископаемых привели к негативным изменениям природной среды, достигающим в ряде горнопромышленных районов региона состояния критической экологической ситуации.

Основные месторождения олова сосредоточены на востоке и северо-востоке республики. В Якутии к настоящему времени известно 114 собственно оловянных объектов – девять коренных месторождений (Барыллыэлах, Депутатское, Дьяхтардахское, Кестер, Улахан-Эгеляхское, Чурпунньаа, Эге-Хая); шесть россыпных (Ергылкан, Смольникова, Тасаппа, Тирехтях (рис. 1), Тысы-Кыл, Чокурдахское), 92 коренных и семь россыпных проявлений, а также два



Рис. 1. Карьер на россыпном месторождении олова Тирехтах [3]

месторождения комплексных олово-вольфрамовых руд (Купольное и Хороньское).

Цель статьи – показать связь геокриологической специфики с геокриологическими и геоэкологическими условиями территории крупнейшего в РФ Депутатского оловорудного месторождения. Статья будет интересна и полезна студентам и специалистам геолого-географической и экономической отраслей.

Природные условия территории освоения

В административном отношении месторождение находится в Усть-Янском районе Республики Саха (Якутия), геоморфологически – в зоне сочленения Селянняхской межгорной впадины с горной цепью Салтага-Тас. Селянняхская межгорная впадина является типичным озерно-аллювиальным понижением с многочисленными водоемами в котлованах. Основные водотоки района месторождения – р. Иргичээн и ее правый приток р. Депутатская.

Климат района резко континентальный с суровой продолжительной зимой (8–9 месяцев) и коротким летом. Среднегодовая температура воздуха в районе $-13,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, среднегодовое количество осадков 250–280 мм, глубина снежного покрова до 24 см. Многолетнемерзлые породы имеют сплошной характер развития, мощность около 500 м, температура на подошве слоя годовых колебаний около $-7,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сезонное оттаивание грунтов составляет от 0,4 до 1,8 м [13, 15]. Основными географическими факторами, отрицательно влияющими на преобразование экосистем криолитозоны в районе месторождения, являются климатические (низкая температура, высокая повторяемость безветренных дней, туманы, относительно высокая плотность воздуха), геоморфологические и геокриологические условия ландшафтов (льдиность отложений, температура горных пород, мощность сезонно-талого слоя, наледи и другие мерзлотные процессы и явления).

К другой группе факторов, влияющих на последствия недропользования, относятся геологические и горнотехнические условия залегания месторождений, рельеф местности, глубина и мощность продуктивного слоя, угол наклона и формы рудного

тела, содержание и физико-химические свойства полезного компонента и геохимический состав руд, эндогенных ореолов и вмещающих пород.

Важный геоэкологический аспект – специфика развития криогенных процессов и явлений [14]. В целом природные условия при естественном развитии территории не благоприятствуют высокой активности криогенных процессов, в основном вследствие небольшой мощности рыхлых отложений, не превышающей 2–2,5 м.

В подобных условиях развиваются следующие криогенные процессы, ранжированные нами по степени пораженности района месторождения [13].

Морозное выветривание преобразовывает 20–30 % поверхности района. В них формируется достаточно мощная (2–7 м) кора криогенного выветривания песчаников, которая по своим свойствам резко отличается от подстилающих коренных пород. Это должно быть учтено при освоении.

Солифлюкция развита на 20–25 % площади, в результате поверхность перекрыта рыхлыми пылеватыми отложениями, которые в условиях достаточного увлажнения и под действием гравитационных сил перемещаются вниз по склонам. Скорость процесса обычно 8–10 см в год. В отдельных случаях при значительном уменьшении сил сцепления между частицами грунта и крутизне склонов более 1° скорость солифлюкции может достигать 30 см в год. При обычных скоростях солифлюкции на склонах малой (-5°) и средней ($6-10^{\circ}$) крутизны формируются оплывины, языки, натёки и микро-террасы.



Рис. 2. Морозобойная трещина на дороге. Фото С. И. Серикова

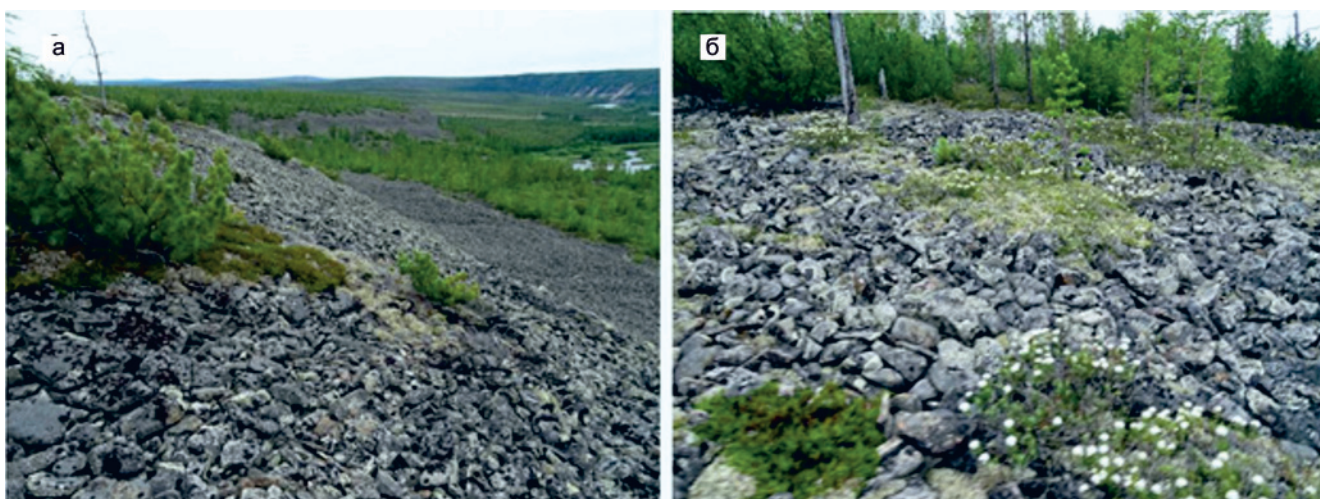


Рис. 3. Каменные моря – курумы (а) и морозная сортировка (б). Фото С. И. Серикова

Морозное пучение грунтов развито лишь на 15–20 % территории месторождения. Это связано с относительно низкой влажностью грунтов. В основном процессу подвержены озерно-аллювиальные и озерно-болотные отложения, а также аллювиальные отложения пойм и низких террас. Здесь формируется кочковатый микрорельеф. Диаметр кочек 30–50 см, высота 10–30 см, редко встречаются кочки до 1,5 м в поперечнике и 0,3–0,4 м высотой. Все эти формы являются результатом сезонного пучения.

Многолетнее пучение грунтов наблюдается редко и возможно только на участках развития торфяников. Образующиеся при этом отдельные слабовыпуклые многолетние бугры пучения имеют высоту не более 1–1,5 м.

Термокарстовые явления охватывают 5–8 % территории, что обусловлено отсутствием крупных залежеобразующих масс подземных льдов и локальным распространением сильно льдистых четвертичных отложений, зафиксированных лишь на отдельных участках поймы, I и II надпойменных террас, в долинах временных водотоков и на плоских или слабо выгнутых водораздельных пространствах.

Значительно более ярко выражены на местности делли на пологих склонах, перекрытых сильно льдистыми отложениями. Подобные термоэрозионные формы хорошо выработаны, имеют глубину до 2–2,5 м при ширине до 30 м.

Морозобойное трещинообразование – наименее всего развитый криогенный процесс, затронувший лишь 1 % площади (рис. 2).

Это связано с отсутствием в данном районе высокой влажности грунтов, больших разрывных температурных градиентов в деятельном слое. При обнажении участков высоких пойм и низких террас возможно развитие законсервированных маломощных полигонов морозобойных трещин и каменных морей – курумов (рис. 3).

Геоэкология территории месторождения

Горнодобывающие и горнообогатительные предприятия – одни из наиболее активных преоб-

разователей окружающей среды, что связано с целым комплексом техногенных факторов [4]. В то же время и сами месторождения являются природными загрязнителями. Отрицательные геоэкологические последствия практически неизбежны при технологических процессах разведки и эксплуатации месторождений. Это дефляция и размыв отвалов и хвостохранилищ; стоки водоотлива из подземных и поверхностных горных выработок; стоки обогатительных фабрик после очистных сооружений; рассеяние рудного материала при транспортировке; организованные и неорганизованные выбросы в процессе обогащения.

Анализ природных особенностей и исследований по дифференциации территории региона, опыта разработки месторождений олова позволил привести принципиальную схему их геоэкологической типизации как объектов недропользования (табл. 1).

Значительная химическая нагрузка на водные и наземные экосистемы месторождений олова в регионе определяется особенностями регионального геохимического фона, составом добываемого сырья и вмещающих пород, таликовых зон, высокой способностью мерзлых пород к пылеобразованию.

К технологическим факторам воздействия на геологическую среду и экосистемы при недропользовании отнесены способ и система разработки месторождений, применяемая технология добычи и переработки сырья, используемый комплекс основной и вспомогательной техники.

Геоэкологическая ситуация, характерная для оловорудных месторождений, рассматривается нами на примере Депутатского оловорудного месторождения, расположенного на северо-востоке Республики Саха (Якутия) в Усть-Янском районе (рис. 4). Это крупнейшее месторождение олова в России: его запасы составляют 13 % от общероссийских. Месторождение открыто 3 августа 1947 г. и активно разрабатывалось подземным способом в 1951–1999 гг. Позднее, в связи с общими экономическими проблемами в стране [13], эксплуатация

Таблица 1

Схема геоэкологической типизации месторождений олова [15]

Виды месторождений олова	Типичные геоэкологические особенности размещения минеральных ресурсов	Характерные формы воздействия на компоненты природной среды
Россыпные (Ергылкан, Смольникова, Тасаппа, Тирехтях, Тысы-Кыл, Чокурдахское)	Располагаются в долинах малых и средних порядков, в отложениях речных террас, бортах долин, реже на водоразделах. Мощность ММП 300–500 м. Глубина залегания россыпей от до 10·n м. Форма пластообразная, протяженность от 0,1 до n·10 км. Ширина россыпей в среднем от 10 до 10·n м	Нарушение мерзлотных условий ландшафта, почвенно-растительного покрова, техногенные атмо-, гидро- и литохимические ореолы и потоки, снижение биологической продуктивности экосистем
Рудные (Барыллыэлах, Депутатское, Дьяхтардахское, Кестер, Улахан-Эгелях, Эге-Хая, Чурпунья)	Тяготеют к положительным морфоструктурам (плато, низко-, среднегорный рельеф), вершинным и водораздельным поверхностям. Мощность ММП 300–500 м. Формы рудных тел от простых до сложных, разной конфигурации. Глубина залегания от 1 до 10·n м, мощность рудных тел и жил от 1 до 10·n м	Нарушение мерзлотных условий ландшафта, почвенно-растительного покрова, сбросы в водотоки, загрязнение атмосферы; химический состав вмещающих пород, природные и техногенные лито- и гидрогеохимические ореолы и потоки рассеяния; закисление геосистем, снижение биологической продуктивности экосистем; технологии добычи (открытая, подземная), обогащения и складирования отходов производства (отвалы пустых пород)



Рис. 4. Космический снимок района Депутатского месторождения

постепенно сокращается. Ограниченная отработка ведется и в настоящее время [8].

Основной оловосодержащий минерал месторождения – касситерит, попутные ценные элементы в рудных телах – In, Au, Bi, Ag (табл. 2).

Рудное поле месторождения сложено мощной терригенной толщей песчаников с прослоями-ритмами глинистых алевролитов и алевропесчаников.

Таблица 2

Химический состав руды Депутатского месторождения олова, мг/кг

Горные породы	Sn	Cu	Zn	Pb	As	Tl	Кол-во проб
Руда на Западном и Центральном флангах месторождения	4000	310	1200	70	64	1,4	120
Вмещающие породы, песчаники	3,8	26,3	76,8	18,7	<5	0,84	32

Простираение пластов от северо-западного до субширотного, падение до 20° на юго-восток. Рудные тела морфологически представлены минерализованными зонами дробления, жилами выполнения, зонами прожилкования с выклинивающимися и дуговыми апофизами. Мощность не выдержана и изменяется в пределах от 0,3 до 4,5 м с небольшими раздувами. Состав первичных руд – сульфиды, кварц, хлорит, турмалин, метаморфизованные осколки вмещающих пород [12]. Западный участок Депутатского оловорудного месторождения вскрыт штольнями Вентиляционная, Капитальная, Вскрывающая (рис. 5).

К настоящему времени в результате горно-геологических работ серьезному преобразованию подвержено около 75 % площади месторождения [8]. Выделяются ландшафты катастрофической, значительной и умеренной степени техногенной нарушенности (рис. 6). Общая площадь нарушенных земель на Депутатском горнообогатительном комбинате составляет около 4,9 тыс. га.

Категория объекта по степени последствий разработки на данной стадии оценивается авторами как умеренно опасная, с возобновлением отработки – как опасная, а при аварийных ситуациях может стать особо опасной.



Рис. 5. Участок «Западный» оловорудного месторождения Депутатское. Фото С. И. Серикова

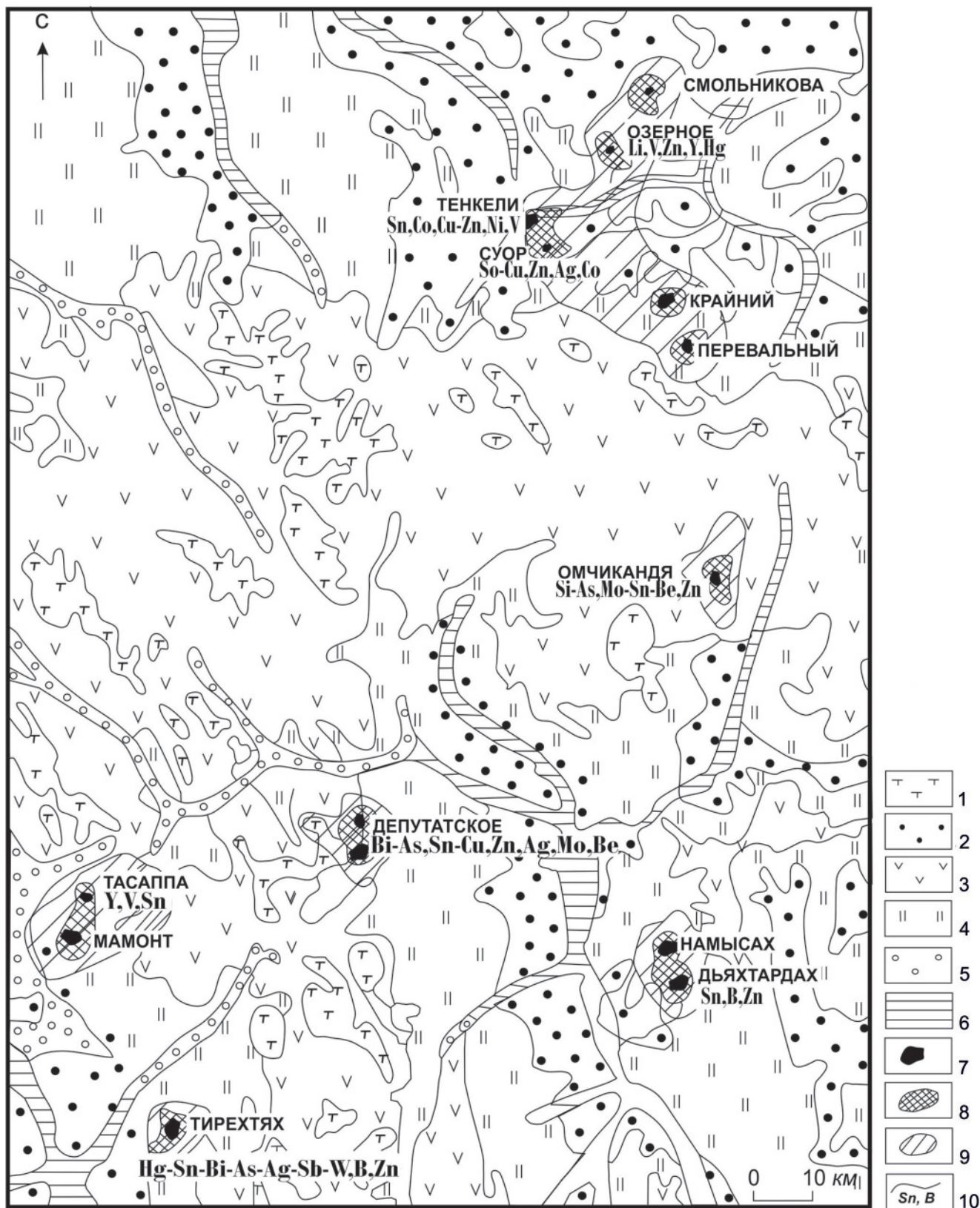


Рис. 6. Нарушенность ландшафтов Депутатского горнопромышленного узла

Тип ландшафта: 1 – горно-приповерхностный, 2 – плоскогорно-привершинный, 3 – горно-склоновый, 4 – межлассный, 5 – горно-долинный, 6 – мелкодлинный; 7–9 – зоны различной степени техногенной нарушенности: 7 – катастрофической, 8 – значительной, 9 – умеренной; 10 – геохимические потоки рассеяния

Поверхностные воды (реки, озера) за пределами месторождения очень пресные с минерализацией 30–40 мг/л, гидрокарбонатные смешанные по со-

ставу катионов. Характерная особенность химического состава фоновых вод – сравнительно высокое для Северо-Востока Якутии содержание сульфат-ио-

на, отражающее насыщенность сульфидами горных пород. Соотношение анионов в составе фоновых речных вод – $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$, катионов – $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$, $\text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ [6].

В формировании химического состава поверхностных и надмерзлотных вод преобладающее значение принадлежит атмосферным осадкам, которые вносят около 30–40 % солей в речные воды. Дождевые воды частично просачиваются в горные породы до кровли многолетней мерзлоты, насыщая сезонно-талый слой, а в основном стекают по поверхности в пониженные участки рельефа, в реки и озера.

Общей чертой гидрогеохимии района Депутатского месторождения является формирование кислых, иногда очень кислых естественных гидрогеохимических полей с высокими концентрациями сульфатов и присутствием в солевом составе комплекса рудных элементов [7].

В результате процессов криогенеза в надмерзлотных водах формируются сульфатные криопэги. Величина сухого остатка этих вод достигает 250 г/л, а в составе микроэлементов обнаружены высокие концентрации Cu, Sn, As, Ag, Pb, Cd, Be, Nb, Ta, Li, Hg.

Повышенная сульфатность характерна и для подмерзлотных вод, вскрытых скважинами в пределах рудного поля на глубинах 200–600 м. В составе подмерзлотных вод наблюдается обширный комплекс тяжелых металлов (Sn, Cu, Ag, Pb, Zn, Ni) и As, типоморфных составу рудных тел.

Источниками долговременного загрязнения речных экосистем являются хвостохранилища. Рудная пульпа обогащена металлами (в основном халькофильной группы). Экологическая опасность продуктов обогащения связана с активизацией физико-химических процессов, возрастанием миграционной способности металлов, что ведет к развитию контрастных и протяженных потоков их рассеяния.

Значительную опасность представляет такие высокотоксичные элементы как As и Pb, накапливающиеся в осадках отстойников и хвостохранилищ, и способные быть источниками вторичного загрязнения воды. Их содержание в осадках, особенно в техногенных илах, высокое (табл. 3).

Отрицательные экологические последствия разработки Депутатского месторождения олова имеют локальный характер по загрязнению атмосферы и литосферы и региональный по уровню техногенного давления на водные системы.

Таблица 3

Содержание As и Pb в осадках хвостохранилищ Депутатского ГОКа, мг/кг

Объект	As	Pb
Хвостохранилище	1000	7
Отстойник	500	70
ПДК _{почв} [2]	10	32

Обработка месторождения ведется шахтным способом и связана с извлечением на поверхность больших масс пустых горных пород, откачкой дренажных вод, эксплуатацией их накопителей, хвостохранилищ.

Природную гидрогеохимическую обстановку меняют техногенные процессы: увеличение инфильтрационного питания за счет поступления из накопителей карьерных вод и жидкой фазы пульпы из хвостохранилищ; атмосферных осадков, поверхностных вод вследствие инверсии режима поверхностных водоемов и водотоков (превращения их из естественных дрен в источники питания); загрязнение поверхностных вод атмосферными осадками, содержащими продукты выщелачивания отвалов пустых пород, карьерными водами, откачиваемыми в накопители, поверхностные водотоки и водоемы, сточными водами. Большинство сооружений, ограждающих накопители и хвостохранилища, пропускают техногенные растворы. Для техногенных стоков характерна стабильность поступления загрязнителей в водотоки. «Ураганная» кислотность, повышенная концентрация сульфатов и соединений азота наблюдается в водосбросе хвостохранилища Депутатского оловорудного месторождения на протяжении тридцати лет (табл. 4).

Поступление техногенных вод из хвостохранилища (рис. 7) формирует контрастные техногенные


Рис. 7. Хвостохранилище Депутатской обогатительной фабрики. Фото С. И. Серикова

Таблица 4

Содержание макро- и микрокомпонентов в техногенных водоемах Депутатского оловорудного месторождения, мг/л

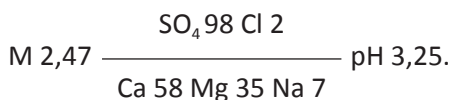
Объект	pH	NH_4^+	NO_2^-	SO_4^{2-}	Mg^{2+}	Zn	Cu	Mn	As
Хвостохранилище	2,6–3,5	405	0,034	11350	145	1,1	64	45	0,10
Водосброс (1991 г.)	2,6	1,0	0,005	1094	60	1,5	2,0	1,0	0,005
Водосброс (2021 г.)	2,9	< 0,5	1,31	1250	52	< 0,005	< 0,001	0,0043	0,005
ПДК _{рх} [1]	–	0,1	0,02	100	40	0,010	0,001	0,010	0,010



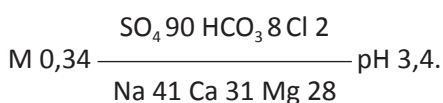
гидрогеохимические аномалии в р. Депутатская, ручьях, расположенных ниже по течению и даже в р. Иргичээн, куда сточные воды с накопителя жидких промышленных отходов на хвостохранилище прямиком спускаются по водосбросному лотку. При этом содержание, к примеру, аммония, Fe, Mn, Cu, Zn в воде, накапливающейся в хвостохранилище, превышает ПДК в сотни и даже в тысячи раз

Большие объемы загрязненных стоков попадают в водные системы при катастрофических паводках. На Депутатском ГОК с 22 мая по 4 июня 2007 г. объем сброса составил 202 тыс. м³; с 6 по 13 июня 2008 г. – 103 тыс. м³ паводковой воды при пропускной способности сифонного водосброса 600 м³/ч.

Вода ручьев, расположенных ниже разрабатываемых месторождений Депутатского рудного поля, представляет собой типичные «рудные» воды с преобладанием сульфатов в солевом составе и высокой концентрацией тяжелых металлов. Это очень агрессивные кислые воды (рН 2,5–3,5) с повышенной минерализацией. Высокая кислотность и насыщенность природных вод сульфатами и тяжелыми металлами наблюдается практически на всем протяжении р. Депутатская. Химический состав воды ниже хвостохранилища ДОФ сульфатный магниевый с минерализацией около 2,5 г/л (формула Курлова):



Рудничные воды обогатительной фабрики частично сливаются через водоотводный туннель непосредственно в р. Иргичээн. Нейтрализация технологических растворов малоэффективна, и через туннель в реку поступают практически неочищенные очень кислые стоки. В русле реки ниже водоотвода рудничных вод формируется контрастная техногенная аномалия (р. Иргичээн, 1,5 км ниже водоотвода Депутатской обогатительной фабрики – ДОФ):



Сброс рудничных вод Депутатской обогатительной фабрики в водную систему р. Иргичээн приводит к ее загрязнению широкой гаммой микроэлементов (табл. 5). Однако, благодаря щелочному геохимическому барьеру в воде реки, тяжелые металлы частично удаляются из раствора и концентрируются в донных осадках.

Для улучшения экологической обстановки на Депутатском месторождении в ООО «Геотех-проект» в 2020 г. разработан проект консервации Депутатского ГОКа. Предлагается осушить хвостохранилище, а сухой остаток покрыть несколькими слоями специальной гидроизолирующей пленки, создав и запечатав внутри искусственную мерзлоту. Этот процесс планируется повторить, а затем на-

Таблица 5

Состав и контрастность техногенных гидрогеохимических аномалий в районе Депутатского месторождения олова (n = 2–9)

Контрастность относительно фоновых содержаний	Состав гидрогеохимических аномалий
1000·n	Zn, Cu, Mn
100·n	Co, Pb, La, SO ₄
10·n	Ag, Mo, Sn, As, Mg, NH ₄
n	V, Cr

крыть содержимое хвостохранилища специальным составом, затвердевающим при контакте с водой, и засыпать грунтом. На финальном этапе объект будет засыпан слоем грунта высотой около 1 м. Считается, что это позволит исключить миграцию загрязнителей в водные системы. Проектом также предусмотрена реконструкция старых дренажных каналов через горный хребет в долину р. Иргичээн.

Выводы

Оловодобывающая отрасль в Яно-Индибирской провинции на Северо-Востоке Якутии характеризуется высокими запасами полезных ископаемых при экстремальных природных условиях (резко континентальный климат, скудная растительность, суровые слабо изученные мерзлотные и геоэкологические характеристики). В сочетании все это обуславливает необходимость разработки и реализации системы природоохранных и компенсирующих мероприятий.

Еще в далеком 1963 г. известный ученый К. Г. Кондаков отметил, что на основе всестороннего учета качества сырья определена высокая экономическая эффективность создания в Якутии крупной оловодобывающей промышленности [5]. Так, для получения 1 т олова в концентрате из якутских месторождений из-за высокого его содержания и качества руд при одинаковом уровне потребуется меньше затрат на технику, рабочую силу, чем в Приморском крае, – в 3 раза, в Хабаровском крае и Магаданской области – в 1,5 раза, в Читинской области – в 7,5 раз.

Цена на олово за последние десять лет на Лондонской бирже металлов на 17.01.2022 увеличилась с 24818 до 41553 \$/т, т. е. почти в 2 раза, а средняя цена олова с 01.01.1993 по 18.01.2022 г. возросла на 35991 \$/т (647 %): с 5562 до 41553 \$/т. Казалось бы, при устойчивом росте мирового спроса на олово можно достичь неплохих финансовых показателей при дальнейшем освоении Депутатского месторождения. Однако одним из факторов, удорожающих освоение природных ресурсов республики, является отсутствие налаженной экономически эффективной транспортной схемы. Транспортировки, хранение и реализация оловянного концентрата на месторождении Депутатское в целом занимает до 1,5 лет.

Усть-Янский район, где расположено Депутатское и другие разведанные месторождения олова,



входит в состав Арктической зоны, инвестиционный потенциал которой базируется на запасах полезных ископаемых. При этом основные проблемы связаны с экстремальными природными условиями, приводящими к сложностям с переработкой, транспортировкой сырья; кроме того, практически утрачен квалифицированный кадровый потенциал отрасли. Особо следует обратить внимание на необходимость решения важнейшей проблемы – вовлечения в хозяйственный оборот перспективнейшего месторождения Черпунья, обладающего рудой с уникально высокими содержаниями олова, но находящегося на побережье Северного Ледовитого океана в наиболее экстремальных природных условиях, что и послужило причиной, из-за которой отработка здесь так и не развернута.

Авторы считают, что самым разумным было бы соблюсти баланс между экологическими и экономическими интересами республики, а квалифицированно это могут сделать только экономисты. Авторы надеются, что окончательное решение о будущем месторождения будет принято с учетом оперативной и объективной информации о геокриологических и геоэкологических условиях Яно-Индибирской оловорудной провинции. Создание и реализация системы природоохранных и компенсирующих мероприятий позволят сохранить эффективную добычу олова с минимальным ущербом для северных геосистем и способствовать возрождению оловодобывающей отрасли республики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **ГН 2.1.5.1315-03.** Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – М.: Минздрав России, 2003 (с изменениями на 13.07.17).

2. **ГН 2.1.7.2041-06.** Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. – М.: Стандартиформ, 2006. – 15 с.

3. **Добыча** олова на месторождении Тирехтах в Якутии может начаться в 2018 году. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3199732>.

4. **Единые** правила охраны недр при разработке месторождений твердых полезных ископаемых / Госгортехнадзор СССР. – М.: Недра, 1987. – 60 с.

5. **Кондаков К. Г.** Основные экономические положения эффективности промышленного освоения недровых богатств Якутской АССР: доклад о содержании основных опубликованных работ на соиск. учен. степ. к. э. н. / Объединенный ученый совет по экономическим наукам СО АН СССР. – Якутск, 1963. – 25 с.

6. **Макаров В. Н.** Ионная (солевая) миграция химических элементов в природных водах криолитозоны // Сб. докл. междунар. науч. конф. «Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология: от

познания к мировоззрению» (24–27 марта 2020 г., СПбГУ). – СПб.: ВВМ, 2020. – С. 957–962.

7. **Макаров В. Н., Мокшанцев Б. К.** Техногенные геохимические потоки месторождений олова в арктической зоне Якутии // Формирование подземных вод криолитозоны. – Якутск: Ин-т мерзловедения СО РАН, 1992. – С. 48–65.

8. **Матвеев А. И., Еремеева Н. Г.** Технологическая оценка месторождений олова Якутии. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2011. – 119 с.

9. **Мерзлые ландшафты Якутии.** Пояснительная записка к мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР м-ба 1:2 500 000. – Новосибирск: ГУГК, 1989. – 170 с.

10. **Перспективы добычи олова в России.** – URL: <https://www.yktimes.ru/%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8/perspektivy-dobyichi-olova-v-rossii>.

11. **Свинобоева О. Н., Ноговицын Р. Р.** Перспективы возрождения оловянной промышленности в Республике Саха (Якутия). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-vozhrozhdeniya-olovyannoy-promyshlennosti-v-respublike-saha-yakutiya>.

12. **Тектоника,** геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / отв. ред. Л. М. Парфенов, М. И. Кузьмин. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с.

13. **Шац М. М.** Геокриологические и геоэкономические аспекты освоения месторождений олова, Яно-Индибирская провинция (Якутия) // Маркшейдерия и недропользование. – 2019. – № 5 (103). – С. 3–8.

14. **Шац М. М.** Дистанционные эколого-геокриологические исследования. – Якутск: Ин-т мерзловедения СО РАН, 1997. – 78 с.

15. **Шац М. М., Макаров В. Н.** Геоэкологические особенности недропользования в Восточной Сибири // Всерос. конф. с междунар. участием «Устойчивость природных и технических систем в криолитозоне», посвящ. 60-летию образования ИМЗ СО РАН (28–30.09.2020 г.) – Якутск: Ин-т мерзловедения СО РАН, 2020. – С. 204–207.

REFERENCES

1. *GN 2.1.5.1315-03. Predelno dopustimyye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v vode vodnykh obyektov khozyaystvenno-pityevogo i kulturno-bytovogo vodopolzovaniya* [HS hygienic standards 2.1.5.1315-03. Maximum concentration limits (MCL) of chemicals in the water of water bodies of drinking and household and cultural and social water use)]. Moscow, Ministry of Health of Russia Publ., 2003 (as amended on 13.07.17). (In Russ.).

2. *GN 2.1.7.2041-06. Predelno dopustimyye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve. Gigenicheskiye normativy.* [Maximum concentration limits (MCL) of chemicals in soil. Hygienic standards]. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 15 p. (In Russ.).



3. Mestorozhdeniye Tirekhtyakh [Tirekhtyakh deposit]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3199732A> (accessed: 12.06.2021). (In Russ.).
4. [Unified Rules for the Protection of Subsurface Resources upon the Development of Deposits of Solid Commercial Minerals]. *Gosgotekhnasdzor SSSR State Technical & Mining Inspectorate of USSR*. Moscow, Nedra Publ., 1987. 60 p. (In Russ.).
5. Kondakov K.G. *Osnovnyye ekonomicheskiye polozheniya effektivnosti promyshlennogo osvoeniya nedrovnykh bogatstv Yakutskoy ASSR. Doklad kand. dis.* [The main economic provisions of the efficiency of commercial development of the subsoil resources of the Yakut ASSR. Author's abstract of PhD thesis]. Yakutsk, 1963. 25 p. (In Russ.).
6. Makarov V.N. [Ionic (salt) migration of chemical elements in natural waters of the cryolithic zone]. *Chetvertyye Vinogradovskiye chteniya. Gidrogeologiya: ot poznaniya k mirovozzreniyu 24–27 marta 2020. Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet* [The 4th Vinogradov Readings. Hydrology: From Cognition to Worldview. March 24–27, 2020. St. Petersburg State University]. Saint Petersburg, VVM Publ., 2020, pp. 957–962. (In Russ.).
7. Makarov V.N., Mokshantsev B.K. [Technogenic geochemical fluxes of tin deposits in the Arctic zone of Yakutia]. *Formirovaniye podzemnykh vod kriolitozony* [Formation of groundwater in the permafrost zone]. Yakutsk, Permafrost Institute SB RAS Publ., 1992, pp. 48–65. (In Russ.).
8. Matveev A.I., Eremeeva N.G. *Tekhnologicheskaya otsenka mestorozhdeniy olova Yakutii* [Technological assessment of tin deposits in Yakutia]. Novosibirsk, Geo Publ., 2011. 119 p. (In Russ.).
9. Fedorov A.N., Botulu T.A., Varlamov S.P. *Merzlyye landshafty Yakutii. Poyasnitelnaya zapiska k merzlotno-landshaftnoy karte Yakutskoy ASSR masshtaba 1: 2 500 000*. [Permafrost landscapes of Yakutia. Sketchbook for Permafrost-Landscape map of Yakutian ASSR scale 1:2,500,000]. Novosibirsk, GUGK Publ., 1989. 170 p. (In Russ.).
10. *Perspektivy dovyichi olova v Rossii* [Prospects of tin mining in Russia]. URL: <https://www.yktimes.ru/%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8/perspektivy-dobyichi-olova-v-rossii> (accessed: 11.06.2017). (In Russ.).
11. Svinoboeva O.N., Nogovitsyn R.R. *Perspektivy vozrozhdeniya olovyannoy promyshlennosti v respublike Sakha (Yakutiya)* [Perspectives for revival of tin industry in the Republic of Sakha (Yakutia)]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-vozhrozhdeniya-olovyanoy-promyshlennosti-v-respublike-saha-yakutiya> (accessed: 18.09.2018). (In Russ.).
12. Parfenov L.M., Kuzmin M.I. *Tektonika, geodinamika i metallogeniya territorii Respubliki Sakha (Yakutiya)* [Tectonics, geodynamics and metallogeny of the Sakha Republic territory (Yakutia)]. Moscow, MAIK Nauka/Interperiodika Publ., 2001. 571 p. (In Russ.).
13. Shats M.M. [Geocryological and geoecological of development of tin deposits of Yana-Indigir Province (Yakutia)]. *Marksheyderiya i nedropolzovaniye – Mine Surveying and Subsurface Use*, 2019, no. 5 (103), pp. 3–8. (In Russ.).
14. Shats M.M. *Distantsionnyye ekologo-geokriologicheskiye issledovaniya* [Remote ecologic and geocryologic investigations]. Yakutsk, Permafrost Institute SB RAS Publ., 1997. 78 p. (In Russ.).
15. Shats M.M., Makarov V.N. [Geoecological features of subsurface use in Eastern Siberia]. *Vserossiyskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennaya 60-letiyu obrazovaniya IMZ SO RAN “Ustoychivost prirodnykh i tekhnicheskikh sistem v kriolitozone” (28–30.09.2020)* [All-Russian Conference with international participation, devoted to the 60th anniversary of establishment of Permafrost Institute SB RAS “Environmental and infrastructure integrity in permafrost regions” (28–30.09.2020)]. Yakutsk, Permafrost Institute SB RAS Publ., pp. 204–207. (In Russ.).

© М. М. Шац, В. Н. Макаров, 2022