

УДК 622.013.364

DOI: 10.25635/2313-1586.2025.02.051

Рассказова Анна Вадимовна,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт горного дела ДВО РАН,
680000, г. Хабаровск, ул. Тургенева, 51
e-mail: annbot87@mail.ru

Rasskazova Anna V.
Candidate of Technical Sciences,
Leading Researcher,
Institute of Mining, Far Eastern branch of RAS,
680000 Khabarovsk, 51 Turgenyeva Str.
e-mail: annbot87@mail.ru

Самборская Татьяна Сергеевна,
аспирант,
Хабаровский Федеральный
исследовательский центр ДВО РАН,
680000, г. Хабаровск, ул. Дзержинского, 54
e-mail: klochкова.t@bk.ru

Samborskaya Tatyana S.
Postgraduate Student,
Khabarovsk Federal Research Center,
Far Eastern branch of RAS,
680000 Khabarovsk, 54 Dzerzhinskiy Str.
e-mail: klochкова.t@bk.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ОТВАЛЬНОЙ ЗАБАЛАНСОВОЙ РУДЫ МАЛМЫЖСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

STUDY OF THE MATERIAL COMPOSITION OF THE WASTE OFF-BALANCE ORE OF MALMYZH DEPOSIT

Аннотация:

В статье приведены результаты исследования вещественного состава медно-порфировых забалансовых руд Малмыжского месторождения, их химико-минералогический и гранулометрический состав. Показаны содержания меди, а также исследованы формы нахождения меди в пробах окисленной медно-порфировой руды, складированной в отвалах (склад забалансовой руды) зоны окисления Малмыжского месторождения Хабаровского края. Также рассмотрена возможность переработки забалансовых руд методами флотации и кучного выщелачивания.

Ключевые слова: месторождение Малмыжское, медно-порфировые забалансовые руды, медь, халькопирит, фазовый анализ, отвал, минералы.

Abstract:

This article presents the results of the study of the composition of copper-porphyry off-balance ores of the Malmyzh deposit, their chemical-mineralogical and grain-size composition. The copper content is defined, and the forms of copper in oxidized copper-porphyry ore off-balance stockpile of Malmyzh deposit in Khabarovsk Krai are studied. Also, the possibility of processing off-balance ores by flotation and heap leaching methods is considered.

Key words: Malmyzh deposit, copper-porphyry off-balance ores, copper, chalcopyrite, phase analysis, waste, minerals.

Введение

Истощение запасов сырьевой базы меди ставит предприятия перед необходимостью изыскания дополнительных медьсодержащих ресурсов [1]. Источником минерального сырья, содержащего цветные и другие металлы, могут являться окисленные руды. При переработке таких руд традиционным флотационным методом получают низкосортные концентраты при низком извлечении металлов (35 – 50 %). Считается, что наиболее перспективным направлением переработки подобных руд является кучное выщелачивание (КВ) [2].

Объектами, пригодными для отработки способом КВ, являются руды месторождений различных генетических типов, полезные компоненты которых могут быть переведены в раствор с последующим получением ликвидных товарных продуктов. Благоприятные геотехнологические условия освоения месторождения способом КВ определяются природными факторами, которые существенным образом влияют на возможность его применения, ход и результаты. В настоящее время более трети мировой добычи металлов приходится на технологию кучного выщелачивания. В последние годы эта технология широко развивается и в России. Установки кучного выщелачивания создаются и успешно эксплуатируются в различных регионах страны.

Использование кучного выщелачивания позволяет вовлекать в отработку не только крупные месторождения бедных руд, но также и вскрышные породы, техноген-

ное золотосодержащее сырье (хвосты обогащения руд цветных и драгоценных металлов) и небольшие по запасам месторождения (от нескольких десятков килограммов до 1–2 т), расположенные в малоосвоенных районах.

Опыт ряда зарубежных и отечественных предприятий по переработке бедных и забалансовых руд относительно малозатратным методом КВ при соблюдении ряда условий, основным из которых является достаточная изученность характера минерального сырья, показывает перспективность данной технологии [3].

Для всех промышленных типов медных руд технология переработки включает их обогащение. Окисленные медные руды комплексного состава обогащаются значительно хуже, чем сульфидные, и относятся к категории упорных.

По степени окисления руды медных месторождений подразделяются на первичные (сульфидные), смешанные и окисленные. Критерием для отнесения руд к тому или иному типу служит содержание меди в оксидной форме: для сульфидных руд – до 10 %; смешанных – 11–50 %; окисленных – более 50 % (для каждого месторождения эти цифры уточняются в процессе технологических исследований) [4].

Объект и материалы исследования

Золото-медно-порфировое Малмыжское месторождение находится в Нанайском районе Хабаровского края в 270 км от г. Хабаровск и занимает общую площадь 153 кв.км.

Месторождение представлено оруденелыми диорит-порфиритами, локально гранодиорит-порфирами в различной степени метасоматизированными: от незначительно проявленной биотитизации до трансформации в метасоматиты карбонат-эпидот-хлорит-кварцевого, серицит-карбонат-кварцевого, серицит-карбонат-полевошпат-кварцевого парагенезиса. Кроме того, в метасоматизированных диорит-порфиритах, гранодиорит-порфирах и метасоматитах локально проявлены процессы актинолитизации. На первичные сульфидные руды приходится более 90 % оцененных запасов руд и металлов [5 – 6].

Как и для большинства формационных аналогов данного месторождения, для него характерна выраженная зона окисления. Зона окисления на месторождении, по данным В.В. Иванова и Е.К. Игнатьева [5], развита практически повсеместно, захватывает четвертичные рыхлые отложения (мощностью до 25 м) и подстилающие их терригенные и интрузивные породы. Глубина ее колеблется от 10 до 15 м, местами до 40 – 50 м и редко до 70 м.

В преобладающих, неравномерно окисленных и выщелоченных сульфидных рудах остаточные содержания меди обычно не превышают 0,1 %. Остаточные содержания золота в них составляют 0,1–0,6 г/т, иногда достигая 1,0 – 1,5 г/т, редко до 4 г/т (участок Свобода). Промышленно значимые (0,2 – 0,3 % Cu) руды в зоне окисления сохранились на месторождении лишь местами [7].

Учитывая в целом значительный ресурсный потенциал этого месторождения (по меди 1,2 млн т, 290 т по золоту) и относительно низкие содержания ценных металлов, очевидна актуальность глубокого изучения минералого-геохимических характеристик его первичных и окисленных руд с позиций обоснования эффективных технологий их переработки. В среднем содержание меди в первичных рудах 0,3 – 0,6 %, золота – 0,1 – 0,5 г/т, но при этом возможно выделение для селективной выемки обогащенных зон с содержанием меди в первичных рудах до 1,5 %, золота – до 3 г/т [8 – 10].

Соответственно, при освоении Малмыжского месторождения возникает необходимость использования двух технологических схем переработки руд: с флотационным обогащением первичных руд и кучным выщелачиванием окисленных руд. Граничные значения вещественно-концентрационных параметров рудной массы для применимости технологии должны определяться по результатам геолого-технологических исследований и экономических расчетов [10 – 11].

Методы исследования

Для проведения на данном этапе предварительных лабораторных аналитических и тестовых геотехнологических исследований медно-порфировых забалансовых окисленных руд Малмыжского месторождения были отобраны пробы с отвалов рудных участков «Долина-1», «Долина-2» и «Центральный». Пробы содержали как сильно раздробленный скальный грунт, так и крупные куски, представляющие собой смесь скальных пород и глины. Пробы были отобраны бороздовым способом, представительность обеспечена. Отбор проб осуществлялся из пяти точек каждого отвала («Долина-1», «Долина-2», и «Центральный»); было составлено три технологические пробы массой по 100 кг. Аналитические пробы выделены методом квартования для проведения химического фазового анализа. Отобранные с отвалов пробы окисленных медно-порфировых забалансовых руд были додроблены до класса -5 мм и расситованы по классам крупности.

Определение минеральных форм меди проводилось методом химического фазового анализа в соответствии с ГОСТ 33207- 2014 «Руды медесодержащие и полиметаллические и продукты их переработки. Методы измерений массовой доли меди в минеральных формах» [12].

Результаты исследования и их обсуждение

Содержание сопутствующих ценных компонентов в каждом классе крупности определено методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) (табл. 1).

Таблица 1

**Результаты анализа элементного состава проб окисленной руды
Малмыжского месторождения методом РФА**

Класс крупности, мм	K, ppm	Ca, ppm	Ti, ppm	Mn, ppm	Fe, ppm	Sr, ppm	Zr, ppm	Ba, ppm
Долина 1								
+3	17943,0	4026,7	3183,0	522,0	23829,0	286,3	199,7	774,3
-3+1	16893,0	4796,3	3584,3	633,0	28953,0	244,3	201,3	697,7
-1+0,5	11735,7	3259,0	3638,7	642,3	29463,0	274,3	370,7	596,7
-0,5+0,2	11161,0	2939,3	3673,3	659,3	29836,0	176,0	251,0	563,7
-0,2+0	15393,7	4212,3	4528,7	777,3	34888,0	221,7	334,3	627,0
Долина 2								
+3	17620,3	14587,7	2911,0	1705,3	28736,0	181,7	192,7	483,0
-3+1	19255,0	5832,3	2654,7	1255,3	26082,0	99,7	180,3	660,3
-1+0,5	12770,3	2059,0	3574,7	1280,0	43011,0	82,0	142,7	464,3
-0,5+0,2	12479,3	1494,7	3373,0	1063,7	42237,7	70,0	143,3	444,7
-0,2+0	13076,0	1976,7	3851,0	950,3	42854,0	84,3	192,7	433,7
Центральный								
+3	16636,0	3785,0	3123,3	191,3	19618,0	251,3	177,7	697,7
-3+1	19158,3	3990,7	3708,7	311,0	29205,7	249,3	229,0	755,3
-1+0,5	15955,0	1970,0	3842,3	423,3	34580,7	174,0	474,3	693,3
-0,5+0,2	15475,3	1735,0	3918,0	368,3	35242,3	115,7	297,0	605,3
-0,2+0	18611,0	2253,7	4517,3	435,3	38938,3	119,3	364,3	639,7

Содержание сопутствующих рудных элементов, за исключением марганца, циркония, стронция, бария и титана, практически находится на уровне геохимического фона. Максимальным содержанием марганца отличаются отвалы участка Долина 2. Содержание сопутствующих компонентов в различных классах крупности равномерное по пробе.

Определение содержания меди и железа выполнено методом атомно-адсорбционного анализа (ААС) НСАМ-155-ХС-1 Методика КХА. Определение меди, цинка, кадмия, висмута, сурьмы, свинца, кобальта, никеля, железа и марганца – атомно-абсорбционным методом в твердых сыпучих материалах [13]. Также выполнен расчет распределения ценных компонентов в пробах по классам крупности (табл. 2).

Таблица 2

**Распределение меди и железа по гранулометрическим фракциям
забалансовой руды**

Класс крупности, мм	Выход %	Массовая доля		Распределение	
		Cu, ppm	Fe, ppm	Cu, %	Fe, %
Долина 1					
+3	22,3	37,6	20000	17,3	20,5
-3+1	63,5	55	21000	72,1	61
-1+0,5	1,2	48,4	31000	1,2	1,7
-0,5+0,2	2,8	37,5	29000	2,2	3,6
-0,2+0	10,1	34,7	29000	7,2	13,2
Итого	100	48,5	22000	100	100
Долина 2					
+3	30,9	30,9	801000	21,8	25
-3+1	58,2	58,2	1179000	77	69,3
-1+0,5	1,5	1,5	621000	0,1	0,9
-0,5+0,2	2,7	2,7	411000	0,2	1,1
-0,2+0	6,7	6,7	532000	1	3,6
Итого	100	44,0	990000	100	100
Центральный					
+3	22,7	22,7	400000	13,7	16,1
-3+1	55,2	55,2	553000	81,2	54,2
-1+0,5	3,1	3,1	896000	0,3	5
-0,5+0,2	9,3	9,3	811000	2,3	13,4
-0,2+0	9,7	9,7	659000	2,5	11,3
Итого	100	37,5	563000	100	100

По пробе Долина 1 наблюдается равномерное содержание меди по классам -35-55 ppm. По пробам Долина 2 и Центральный максимальным содержанием меди характеризуются классы +1 мм – 58-31 ppm и 23-55 ppm, соответственно. Нижние классы (-1+0 мм) содержат 1,5-6 ppm и 3-10 ppm, соответственно, для Долина 2 и Центральный. Распределение меди таково, что в верхних классах крупности +3, -3+1 мм содержится 89 – 99 % всей меди. Такое распределение, в частности, объясняется высоким выходом данных классов.

В табл. 3 представлены данные фазового анализа меди и минеральные формы ее нахождения.

Таблица 3

Химический фазовый анализ минеральных форм меди

Класс крупности, мм	Массовая доля меди в первичных сульфидах, %	Массовая доля меди во вторичных сульфидах, %	Массовая доля меди в «свободных» окисленных минералах, %	Массовая доля меди в «связанных» (вторичных) окисленных минералах меди, %
	Долина 1			
+3	50,17	24,95	9,32	15,56
-3+1	50,19	24,99	8,80	16,03
-1+ 0,5	60,02	8,63	15,94	15,41
-0,5+0,2	63,02	5,52	16,53	14,93
-0,2+0	59,19	2,65	23,47	14,69
	Долина 2			
+3	61,83	27,02	8,42	2,73
-3+1	63,24	26,36	7,52	2,88
-1+ 0,5	41,27	9,83	29,43	19,47
-0,5+0,2	39,61	5,77	33,61	21,01
-0,2+0	38,93	10,48	28,41	22,18
	Центральный			
+3	82,61	6,12	5,90	5,37
-3+1	75,55	6,95	7,90	9,59
-1+ 0,5	56,63	6,16	22,74	14,46
-0,5+0,2	52,30	4,02	19,63	24,05
-0,2+0	54,89	5,83	18,87	20,42

Из приведенных в табл. 3 данных видно, что в исследуемых окисленных забалансовых рудах 40 – 80 % меди находится в первичных сульфидах (в частности, в халькопирите).

Вторичные сульфиды (халькозин, борнит, ковеллин) в пробах Долина 1 и Долина 2 составляют 25 – 27 % в классах + 1 мм; в нижних классах (-1 мм) доля вторичных сульфидов – 2 – 10 %. В отвале Центральный 4 – 7 % вторичных сульфидов (в частности, халькозина).

Свободные окисленные минералы меди (сульфаты, гидроксилхлориды, карбонаты, оксиды меди), обладающие большей хрупкостью при дроблении, переходят преимущественно в тонкие классы (-1 мм).

В отвалах окисленных руд Долина 2 и Центральный массовая доля меди в «связанных» (вторичных) окисленных минералах меди (силикатные формы окисленных минералов меди) колеблется от 14 до 24 % в тонких классах (-1 мм), что отражает большую хрупкость окисленных минералов меди. В отвале Долина 1 наблюдается более равномерное содержание данной формы меди.

Заключение

В результате исследования форм нахождения меди в отвалах забалансовой окисленной руды было установлено, что процессы гипергенеза полностью не завершены, поэтому в данных рудах в относительно значительных количествах (40 – 80 %) присутствует медь в форме сульфидов, в основном в виде халькопирита.

Окисленные формы меди склонны к переизмельчению и переходят в нижние классы (-1 мм), составляют 30 – 50 % в зависимости от пробы.

Возможно додрабливание и разделение по классу +1 мм. Надрешетный продукт, преимущественно содержащий медь в сульфидной форме, может использоваться для подшихтовки в процессах флотационного обогащения. Подрешетный продукт, содержащий медь в окисленной форме (на 30 – 50 %), после окомкования может подвергаться кучному выщелачиванию, так как окисленные формы меди легко выщелачиваются с высокими показателями извлечения.

Список литературы

1. Александрова Т.Н., 2022. Комплексная и глубокая переработка минерального сырья природного и техногенного происхождения: состояние и перспективы. *Записки Горного института*, Т. 256, С. 503-504.
2. Оценка возможности переработки бедных окисленных комплексных медных руд способом кучного выщелачивания. Научный совет по методам технологических исследований. Методические рекомендации № 136. Москва, 2019. URL: https://vims-geo.ru/media/documents/metodicheskiye_rekomendatsii_136.pdf (дата обращения 19.06.2025)
3. Секисов А.Г., Рассказова А.В., Конарева Т.Г., 2023. Комбинированные геотехнологические схемы освоения золотосодержащих техногенных минеральных образований. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 12-2, С. 116-128.
4. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Медные руды. Утверждены распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р. URL: <https://amurinform.ru/wp-content/uploads/2015/10/met.rek.-mednye-rudy.pdf> (дата обращения 19.06.2025)
5. Иванов В.В., Кононов В.В., Игнатьев Е.К., 2013. Минералого-геохимические особенности рудной минерализации в метасоматитах золотомедного рудного поля Малмыж (нижнее Приамурье). *Тектоника, глубинное строение и минерагения Востока Азии: VIII Косыгинские чтения: материалы Всероссийской конференции, 17-20 сентября 2013, г. Хабаровск*. Отв. ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Манилов. Владивосток: Дальнаука, С. 258-261.
6. Секисов А.Г. и др., 2019. Разработка научных основ и инновационных технологий комплексной переработки минерального сырья Дальневосточного региона. Отчет о НИР от 12.01.2019.
7. Секисов А.Г., Иванов В.В., Рассказова А.В., Игнатьев Е.К., 2018. Геохимические особенности руд зоны окисления медно-золоторудного месторождения Малмыж и результаты их геотехнологического тестирования. *Горный журнал*, № 10, С. 30-35.
8. Рассказова А.В., 2019. Методы обогащения бедных золотомедных руд. *Проблемы недропользования*, № 2 (21), С. 122-129.
9. Gurman M.A., Shcherbak L.I., 2023. Process Mineralogy of the Malmyzh Deposit. *Journal of Mining Science*, vol. 59(1), pp. 148–156. DOI: 10.1134/S1062739123010167.
10. Рассказов И.Ю., Чебан А.Ю., Литвинова Н.М., Конарева Т.Г., Андриященко А.С., 2023. Совершенствование схем добычи и переработки руд при освоении сложно-структурных месторождений. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*, № 2, С. 57-67.
11. Rasskazov I.Yu., Gurman M.A., Shcherbak L.I., 2023. The Genetic Features and Flotation Properties of Porphyry–Copper–Gold Ore (Malmyzh Deposit, Khabarovsk Krai, Russia). *Doklady Earth Sciences*. DOI: 10.1134/S1028334X23601748.
12. ГОСТ 33207- 2014 Руды медесодержащие и полиметаллические и продукты их переработки. Методы измерений массовой доли меди в минеральных формах. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293763/4293763516.pdf> (дата обращения 10.06.2025)

13. НСАМ-155-ХС-1 *Методика КХА. Определение меди, цинка, кадмия, висмута, сурьмы, свинца, кобальта, никеля, железа и марганца атомно-абсорбционным методом в твердых сыпучих материалах.* URL: <https://lepton.ru/GOST/Index2/1/4293753/4293753572.htm> (дата обращения 10.06.2025)

References

1. Aleksandrova T.N., 2022. Kompleksnaya i glubokaya pererabotka mineral'nogo syr'ya prirodnogo i tekhnogennogo proiskhozhdeniya: sostoyanie i perspektivy [Complex and deep processing of mineral raw materials of natural and man-made origin: state and prospects]. Zapiski Gornogo instituta, Vol. 256, P. 503-504.
2. Otsenka vozmozhnosti pererabotki bednykh okislennykh kompleksnykh mednykh rud sposobom kuchnogo vyshchelachivaniya [Assessment of the possibility of processing poor oxidized complex copper ores by heap leaching]. Nauchnyi sovet po metodam tekhnologicheskikh is-sledovaniy. Metodicheskie rekomendatsii № 136. Moscow, 2019. URL: https://vims-geo.ru/media/documents/metodicheskiye_rekomendatsii_136.pdf (data obrashcheniya 19.06.2025)
3. Sekisov A.G., Rasskazova A.V., Konareva T.G., 2023. Kombinirovannye geotekhnologicheskie skhemy osvoeniya zolotosoderzhashchikh tekhnogennykh mineral'nykh obrazovaniy [Combined geotechnological schemes for the development of gold-bearing technogenic mineral formations]. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten', № 12-2, P. 116-128.
4. Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu Klassifikatsii zapasov mestorozhdenii i prognoznykh resursov tverdykh poleznykh iskopaemykh [Methodological recommendations for the application of Classification of reserves of deposits and forecast resources of solid minerals]. Mednye rudy. Utverzhdeny rasporyazheniem MPR Rossii ot 05.06.2007 g. № 37-r. URL: <https://amurinform.ru/wp-content/uploads/2015/10/met.rek.-mednye-rudy.pdf> (data obrashcheniya 19.06.2025)
5. Ivanov V.V., Kononov V.V., Ignat'ev E.K., 2013. Mineralogo-geokhimicheskie osobennosti rudnoi mineralizatsii v metasomatitakh zolotomednogo rudnogo polya Malmyzh (nizhnee Priamur'e) [Mineralogical and geochemical features of ore mineralization in metasomatites of the Malmyzh gold and copper ore field (Lower Amur region)]. Tektonika, glubinnoe stroenie i minerageniya Vostoka Azii: VIII Kosygin'skie chteniya: materialy Vserossiiskoi konferentsii, 17-20 sentyabrya 2013, g. Khabarovsk. Otv. red. A.N. Didenko, Yu.F. Manilov. Vladivostok: Dal'-nauka, P. 258-261.
6. Sekisov A.G. i dr., 2019. Razrabotka nauchnykh osnov i innovatsionnykh tekhnologii kompleksnoi pererabotki mineral'nogo syr'ya Dal'nevostochnogo regiona [Development of scientific foundations and innovative technologies for complex processing of mineral raw materials in the Far Eastern region of Russia]. Otchet o NIR ot 12.01.2019.
7. Sekisov A.G., Ivanov V.V., Rasskazova A.V., Ignat'ev E.K., 2018. Geokhimicheskie osobennosti rud zony okisleniya medno-zolotorudnogo mestorozhdeniya Malmyzh i rezul'taty ikh geotekhnologicheskogo testirovaniya [Geochemical features of ores from the oxidation zone of the Malmyzh copper-gold deposit and the results of their geotechnological testing]. Gornyi zhurnal, № 10, P. 30-35.
8. Rasskazova A.V., 2019. Metody obogashcheniya bednykh zolotomednykh rud [Methods of enrichment of poor gold-copper ores]. Problemy nedropol'zovaniya, № 2 (21), P. 122-129.
9. Gurman M.A., Shcherbak L.I., 2023. Process Mineralogy of the Malmyzh Deposit. Journal of Mining Science, vol. 59(1), pp. 148–156. DOI: 10.1134/S1062739123010167.
10. Rasskazov I.Yu., Cheban A.Yu., Litvinova N.M., Konareva T.G., Andryushchenko A.S., 2023. Sovershenstvovanie skhem dobychi i pererabotki rud pri osvoenii slozhno-strukturnykh mestorozhdenii [Improvement of ore extraction and processing schemes in the

development of complex-structured deposits]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh is-kopaemykh*, № 2, P. 57-67.

11. Rasskazov I.Yu., Gurman M.A., Shcherbak L.I., 2023. The Genetic Features and Flotation Properties of Porphyry–Copper–Gold Ore (Malmyzh Deposit, Khabarovsk Krai, Russia). *Doklady Earth Sciences*. DOI: 10.1134/S1028334X23601748.

12. GOST 33207- 2014 Rudy medesoderzhashchie i polimetallicheskie i produkty ikh pererabotki. *Metody izmerenii massovoi doli medi v mineral'nykh formakh*. [Copper-containing and polymetallic ores and products of their processing. Methods for measuring the mass fraction of copper in mineral forms]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293763/4293763516.pdf> (data obrashcheniya 10.06.2025).

13. NSAM-155-KhS-1 Metodika KKhA. *Opredelenie medi, tsinka, kadmiya, vismuta, sur'my, svintsa, kobal'ta, nikelya, zheleza i margantsa atomno-absorbtsionnym metodom v tverdykh sypuchikh materialakh* [KKhA methodology. Determination of copper, zinc, cadmium, bismuth, antimony, lead, cobalt, nickel, iron and manganese by atomic absorption method in solid bulk materials]. URL: <https://lepton.ru/GOST/Index2/1/4293753/4293753572.htm> (data obrashcheniya 10.06.2025).