



Технология извлечения полезных компонентов из горючих сланцев месторождения Актау

А. Б. Холиков, М. Ш. Ахмедов, И. М. Алматыв

Институт минеральных ресурсов, Ташкент, Узбекистан
ilkhom90@list.ru

В данной работе рассматриваются технологии по переработке горючих сланцев. Определены параметры термического разложения без доступа кислорода (пиролиз) и гидрометаллургические способы извлечения полезных компонентов. Выщелачивание по извлечению в сернокислотный раствор ценных компонентов, а также по селективному извлечению на ионообменные смолы проведено методом сорбции ценных компонентов ванадия и молибдена. Представленные способы не реализованы в промышленном объеме, так как переработка горючих сланцев в республике не практикуется. Проанализированы перспективные технологические схемы переработки золы горючих сланцев. Процесс включает добавление хлорида натрия в процесс термического разложения без доступа кислорода (пиролиз), полученная зола выщелачивается в чанах с серной кислотой 160 г/л при комнатной температуре, $T : W = 1 : 5$, продолжительность 60 минут. Полученный металлоносный сернокислотный раствор фильтруется и направляется в сорбцию, а также на осаждения. Извлечение ванадия и молибдена в раствор составляет более 60–70 %. Следует отметить, что при увеличении расхода серной кислоты (более 160 г/л) концентрация металлов в продуктивном растворе не увеличивается. Для извлечения металлов из продуктивных растворов выщелачивания золы горючих сланцев месторождения Актау использовали ионообменные смолы английской компании Purolite: для извлечения молибдена – марки А-100 Мо и ванадия – марки А-109.

Ключевые слова: Узбекистан, металлоносные горючие сланцы, технология переработки, ванадий, молибден.

Technology of extraction of useful components from shales of the Aktau deposit

A. B. Kholikov, M. Sh. Akhmedov, I. M. Almatov

Institute of Mineral Resources, Tashkent, Uzbekistan

This paper describes technologies for processing of oil shales and determines parameters of thermal decomposition without oxygen access (pyrolysis) and hydrometallurgical methods for extracting useful components. The following methods are presented: leaching to extract valuable components into a sulfuric acid solution, and selective extraction to ion-exchange resins by sorption of valuable components of vanadium and molybdenum. The presented methods are not implemented on an industrial scale, since there is no oil shale processing in the Republic. Perspective technological schemes of oil shale ash processing are analyzed. The process involves the addition of sodium chloride to the process of thermal decomposition without access to oxygen (pyrolysis). The resulting ash is leached in vats with sulfuric acid 160 g/L, at room temperature, $T : W = 1 : 5$, duration 60 minutes. The resulting metal-bearing sulfuric acid solution is filtered and sent to sorption and precipitation. Extraction of vanadium and molybdenum into solution is more than 60–70 %. It should be noted that with an increase in the consumption of sulfuric acid over 160 g/L, the concentration of metals in the productive solution does not increase. The ion-exchange resins of the English company PUROLITE were used to extract metals from the productive solutions of leaching of oil shale ash from the Aktau deposit: for the extraction of molybdenum – A-100 Mo grade, and vanadium – A-109 grade.

Keywords: Uzbekistan, metal-bearing oil shale, processing technology, vanadium, molybdenum.

Введение

По данным мировой практики (Андреев, 2020; Александрова, 2014; Гаранина, 2014; Иванов, 2017; U.S. Energy...), в области переработки металлоносных горючих сланцев в настоящее время существуют три технологии — Petroter и Enfenit-280 в Эстонии, Fushun в КНР. В рамках этих технологий (Стрижакова, 2008; Стрижакова и др., 2009; Морев и др., 2015; Хачатурян, 2016; Патраков, Писаренко, 2017) извлекается только сланцевая смола, а остаточные золы используются только в строительной индустрии при производстве цемента, дорожных покрытий и т. п. На этом фоне горючие сланцы Республики Узбекистан существенно от-

личаются повышенной металлоносностью и поэтому требуют более сложной технологии переработки с содержанием полезных компонентов.

По данным на 1999 г. (Прохоренко и др., 1999), разведанные запасы металлоносных горючих сланцев Республики Узбекистан огромны и оцениваются в 47 млрд т. Учеными Узбекистана (Евдокимов и др., 2007; Гуро, Ибрагимова, 2009; Алимов, Борминский, 2010; Исоков и др., 2015) проведены исследования по извлечению из них металлов химическими и гидрометаллургическими методами. Известно, что в настоящее время около 20 % мирового производства металлов за счет горнорудного сырья происходит с использованием именно гидрометаллургических методов,

Для цитирования: Холиков А. Б., Ахмедов М. Ш., Алматыв И. М. Технология извлечения полезных компонентов из горючих сланцев месторождения Актау // Вестник геонаук. 2023. 3(339). С. 42–47. DOI: 10.19110/geov.2023.3.4

For citation: Kholikov A. B., Akhmedov M. Sh., Almatov I. M. Technology of extraction of useful components from shales of the aktau deposit. Vestnik of Geosciences, 2023, 3(339), pp. 42–47, doi: 10.19110/geov.2023.3.4



включающих выщелачивание (перевод металлов в щелочные и кислые растворы), сорбцию выщелоченных металлов на ионообменные смолы, последующие десорбцию и химическое осаждение.

В узбекском Институте минеральных ресурсов Узбекистана были проведены лабораторные исследования по извлечению комплекса металлов из золы горючих сланцев месторождения Сангрунтау, Актау, Байсун и др. Самые высокие показатели по степени такого извлечения металлов получены при автоклавной переработке металлоносных сланцев с использованием специального дорогостоящего оборудования: в коллективный раствор переходило более 60 % Cu, Zn, Ni, Mo (Исоков и др., 2012а, 2012b, 2013, 2022). Тем не менее в настоящее время нет вполне отработанной экономически эффективной технологии переработки на «коллективный» концентрат металлов за счет мало- и умеренно металлоносных углеродных сланцев.

Методы исследования

Для исследования выбран объект горючих сланцев месторождения Актау с утвержденными запасами 1550 млн т. Технологическая проба отбиралась шурфным способом по простиранию с интервала 27 м. Мощность опробованного пласта составляет пять метров. На предварительном этапе технологическая проба подвергалась дроблению, измельчению, гранулометрическому анализу. После определения химического состава был проведен пиролиз — термическое разложение без доступа кислорода — на установке «Реторта Фишера». Полученная зола при 850 °С подвергалась переработке гидрометаллургическим методом. Для определения оптимальных параметров извлечения ванадия и молибдена были проведены выщелачивание серной кислотой в специальных кислотостойких чанах с последующей сорбцией на ионообменных смолах английской компании Purolite.

Состав пробы горючих сланцев и продуктов ее пиролиза (золы) анализировался в лаборатории АО «Узбекгеология кидирув» методами аналитической химии (валовый химический состав) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (микроэлементы).

Результаты исследований

Для исследований использовался тонкоизмельченный материал технологической пробы горючих сланцев с размером частиц –0.1 мм — от тонкозернистых песков до алевритов. Предварительно из нее пиролитическим методом были извлечены сланцевая смола и газы. Процесс пиролиза продолжался в течение трех часов при нагревании в диапазоне 650–850 °С. Из полученных результатов (табл. 1) следует, что в ходе нагревания в указанном выше диапазоне происходит рост выхода жидкой и газовой фаз соответственно на 2.3 и 9.5 %, но снижение выхода золы на 1.3 %.

Химический состав полученной в результате пиролиза золы (мас. %): SiO₂ — 61.98; TiO₂ — 0.62; Al₂O₃ — 13.9; Fe₂O₃ — 5.74; MnO — 0.08; MgO — 3.02; CaO — 7.76; Na₂O — 0.97; K₂O — 1.42; P₂O₅ — 1.0; SO₃ — 2.62; ППП 3.47; сумма — 99.96; CO₂ — 0.35; H₂O_{гигроск.} — 0.44. Анализ содержания микроэлементов (табл. 2) показал,

Таблица 1. Результаты термического разложения без доступа кислорода
Table 1. Results of thermal decomposition in the absence of oxygen

№ п/п	t, °С	Выход, % Yield, %		
		Жидкая фаза Liquid phase	Зола Ash	Газовая фаза Gas phase
1	650	12.8	79.8	7.4
2	700	12.9	79.4	7.7
3	850	13.1	78.8	8.1

что исходные пробы металлоносных горючих сланцев относительно кларков земной коры сильно (в 10–300 раз) обогащены Mo, Te, Cd, Se, U, Tl, V, Yb и умеренно обогащены Ba, W, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Sb, Sc, Y, Eu, Tm. В групповом выражении исходная проба относительно обогащена элементами-литофилами, сидерофилами, халькофилами и полуметаллами. К дефицитным относительно кларков относятся Li, Be, Sr, Nb, Sn, Th, Mn, Co, Pb, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Lu. В групповом выражении наиболее дефицитными выступают лантаноиды.

В золе относительно исходной пробы возрастают групповые содержания редкоземельных (на 54 %), литофильных без REE (на 4.1 %), сидерофильных (на 2.3 %) элементов. Групповые содержания полуметаллов и халькофилов, напротив, сокращаются (соответственно на 55.5 и 17.9 %), халькофильных — на 17.9. Общее содержание микроэлементов в золе возрастает на 2.01 %. В части отдельных элементов наиболее отчетливое сокращение содержаний в золе выявляется для Ba, Nb, Sn, Th, U, Mn, Ni, Cd, Pb, As, Sb, Te, Sc, Sm, Eu, Er, Tm. К элементам, накапливающимся в золе, относятся Li, Be, Sr, Mo, W, Th, Y, La, Ce, Pr, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Yb, Lu, V, Cr, Co, Cu, Zn, Se.

Для оптимизации степени сернокислотного извлечения из исходной технологической пробы и полученной из нее золы сильнонадкларковых элементов — ванадия и молибдена — проведены эксперименты с целью оценки влияния на этот процесс гранулометрии материала и соотношения твердое/жидкое (Т/Ж) в чановом реакторе. В эксперименте были использованы исходный материал горючих сланцев и отдельные гранулометрические фракции золы (мм): –1+0.5 (пески крупнозернистые); –0.5+0.315 (пески среднезернистые); –0.315 (пески мелкозернистые). Опыты проводились при комнатной температуре; пропорция Т/Ж составляла 0.2; концентрация H₂SO₄ варьировалась от 3 до 15 %; время выщелачивания — 60 мин.

Полученные результаты (рис. 1) показали, что гранулометрический состав материала явно влияет на степень кислотного извлечения ванадия и молибдена. Она многократно возрастает в последовательности от исходной пробы к крупнопесчаной фракции золы, затем к среднезернисто-песчаной фракции золы, затем несколько сокращается в случае мелкозернисто-песчаной фракции. Это, скорее всего, коррелируется с валовым содержанием элементов в пробе и соответствующих фракций золы.

Для определения влияния пропорции Т/Ж на степень извлечения металлов в сернокислотный раствор использовалась гранулометрическая фракция золы

**Таблица 2.** Содержание химических элементов (г/т) в исходной пробе (1) и золе (2) горючих сланцев месторождения Актау по данным масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой**Table 2.** The content of chemical elements (g/t) in the original sample (1) and ash (2) of oil shales from the Aktau deposit according to inductively coupled plasma mass spectrometry

Элементы Elements	Кларк земной коры по А. П. Виноградову Clark of the earth's crust according to A. P. Vinogradov	1/КК	2/КК	2/1
Li	32	23/0.72	26.4/0.83	1.15
Be	3.8	1.4/0.37	1.89/0.5	1.35
Ba	650	860/1.32	831/1.28	0.97
Sr	340	320/0.94	361/1.06	1.13
Nb	20	7.3/0.37	7.18/0.36	0.98
Mo	1.1	360/327	397/361	1.1
Sn	2.5	2.5/1	0.88/0.35	0.35
W	1.3	1.5/1.15	3.05/2.35	2.03
Th	13	8.6/0.66	4.5/0.35	0.52
U	2.5	54/21.6	52/20.8	0.96
Tl	1	12/12	33.1/33.2	2.76
Сумма и среднее ± СКО Sum and mean ± SD	1067.2	1650.3/1.55	1718/1/61	1.21 ± 0.67
V	90	880/9.78	915/10.17	1.04
Cr	83	95/1.14	178/2.14	1.87
Mn	1000	610/0.61	528/0.53	0.86
Сумма и среднее ± СКО Sum and mean ± SD	1173	1585/1.35	1621/1.38	1.26 ± 0.54
Co	18	13/0.72	13.2/0.73	1.02
Ni	58	220/3.79	131/2/26	0.6
Cu	47	77/1.64	79.8/1.7	1.04
Zn	83	130/1.57	149/1.8	1.15
Cd	0.013	21/1615	5.94/457	0.28
Pb	16	14/0.88	11/0.69	0.79
Сумма и среднее ± СКО Sum and mean ± SD	206	475/2.3	389.94/1.89	0.81 ± 0.33
As	1.7	7.3/4.29	0.2/0.12	0.03
Sb	0.5	7.2/14.4	0.8/1.6	0.11
Te	0.001	0.36/360	0.18/180	0.5
Se	0.05	8.7/174	9.3/186	1.07
Сумма и среднее ± СКО Sum and mean ± SD	2.25	23.56/10.47	10.48/4.66	0.43 ± 0.48
Sc	10	12/1.2	11.6/1.16	0.97
Y	20	26/1.3	31.1/1.56	1.2
La	29	21/0.72	34.9/1.2	1.66
Ce	70	32/0.46	56.9/0.81	1.78
Pr	9	3.7/0.41	9.4/1.04	2.54
Nd	37	16/0.43	33.6/0.91	2.1
Sm	8	4.7/0.59	4.6/0.58	0.98
Eu	1.3	1.6/1.23	1.27/0.98	0.79
Gd	8	3.4/0.43	6.29/0.79	1.85
Tb	4.3	0.68/0.16	0.78/0.18	1.15
Dy	5	3.6/0.72	5.07/1.01	1.41
Ho	1.7	0.89/0.52	1.4/0.82	1.57
Er	3.3	2.6/0.79	2.49/0.75	0.96
Tm	0.27	0.4/1.48	0.34/1.26	0.85
Yb	0.33	3.1/9.39	3.16/9.58	1.02
Lu	0.8	0.27/0.34	0.29/0.36	1.07
Сумма редких земель Sum of rare earths	208	131.94/0.63	203.19/0.98	1.37 ± 0.5
Общее содержание и среднее ± СКО Total content and mean ± SD	2656.46	3865.8/1.46	3942.61/1.48	1.14 ± 0.59

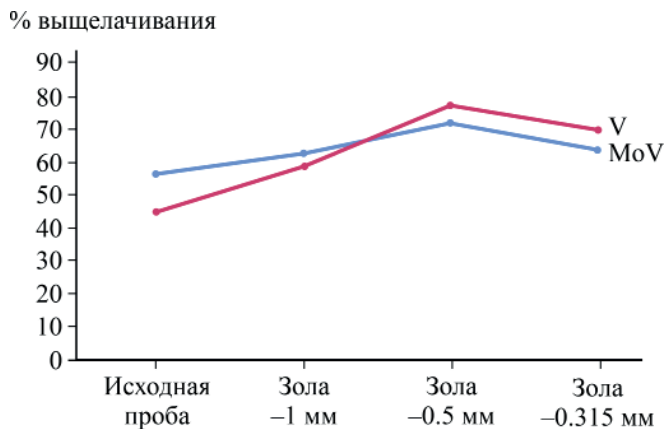


Рис. 1. Экстракция V и Mo из гранулометрических фракций разной крупности

Fig. 1. V and Mo extraction from granulometric fractions of various size classes

-0.5 мм, выщелачивание проводилось при комнатной температуре в течение 60 мин.

По ванадию (рис. 2) получены данные, что степень его кислотного извлечения возрастает с увеличением концентрации H_2SO_4 от 3 до 15 % в 2.6–1.8 раз. При этом по мере роста доли жидкой фазы (Т/Ж = от 1 до 0.2) степень выщелачивания увеличивается при всех концентрациях растворителя, правда несколько неравномерно. По молибдену (рис. 3) установлено, что степень его кислотного извлечения в тех же условиях возрастает в 2.1–1.7 раз, т. е. несколько в меньшей степени, чем у ванадия.

В целом проведенные исследования показали, что при чановом кислотном выщелачивании золы горючих сланцев месторождения Актау в раствор в конечном счете переходит около 80 % ванадия и более 70 % молибдена. Максимальная степень извлечения достигается при значении Т/Ж = 0.2. Дальнейшее увеличение доли жидкой фазы в реакторе на извлекаемость металлов не влияет.

Полученные экспериментальные данные позволяют предложить пятиэтапную технологическую схему переработки горючих сланцев месторождения Актау на промышленно ценные металлы (рис. 4): 1) перемешивание материала углеродных сланцев с 12 % примесью хлорида натрия; 2) термическое разложение без доступа кислорода (пиролиз) при температуре 850 °С; 3) кислотное выщелачивание золы; 4) сорбция кислотно-выщелоченных металлов с использованием ионообменных смол марки А-109 — для извлечения ванадия и марки А-100 — для извлечения молибдена; 5) десорбция выщелоченных металлов с последующей утилизацией. В итоге использования этой технологической схемы были получены сланцевая смола (13.1%) и концентраты ванадия (70.2 %) и молибдена (64.8 %).

Заключение

Проанализированы методы и технологии переработки металлоносных горючих сланцев на примере месторождения Актау. Определены условия получения сланцевой смолы при термическом разложении без доступа кислорода, перевода ценных компонентов в сернокислотный раствор. Протестированы ионо-

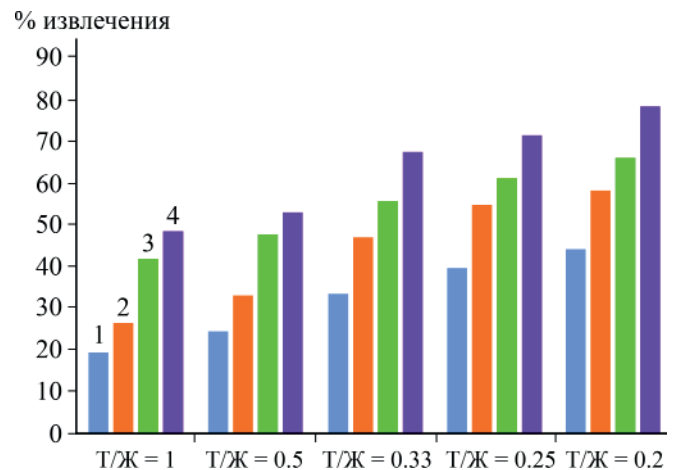


Рис. 2. Определение зависимости степени кислотного извлечения ванадия в зависимости от концентрации серной кислоты (1–4) и пропорции Т/Ж в реакторе. Концентрации H_2SO_4 : 1–3 %, 2–5 %, 3–10 %, 4–15 %

Fig. 2. Determination of the dependence of the degree of acid extraction of vanadium depending on the concentration of sulfuric acid (1–4) and S/L proportion in the reactor. H_2SO_4 concentrations: 1–3 %, 2–5 %, 3–10 %, 4–15 %

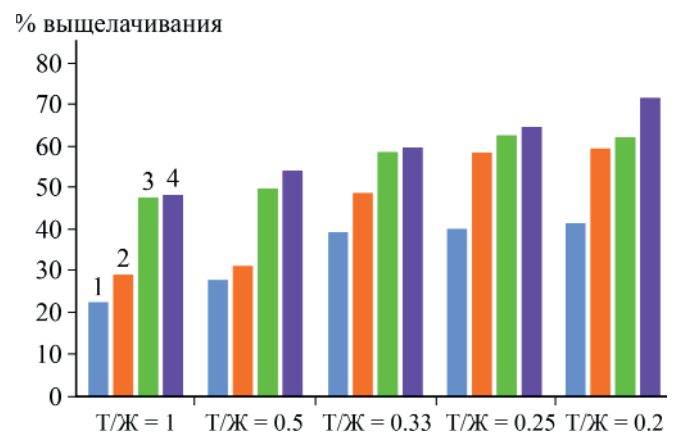


Рис. 3. Определение зависимости степени кислотного извлечения молибдена в зависимости от концентрации серной кислоты (1–4) и пропорции Т/Ж в реакторе

Fig. 3. Determination of the dependence of the degree of acid extraction of molybdenum depending on the concentration of sulfuric acid (1–4) and S/L proportion in the reactor

обменные смолы для селективного извлечения ванадия и молибдена методом сорбции из насыщенного металлоносного сернокислотного раствора. Разработана технологическая схема комплексной переработки горючих сланцев месторождения Актау с получением сланцевой смолы, концентратов ванадия и молибдена, с утилизацией остатков для строительной индустрии. На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

Наиболее оптимальной для переработки горючих сланцев месторождения Актау на сланцевую смолу и металлоносные концентраты является технология термического разложения без доступа кислорода (пиролиз) на установке, имитирующей процесс Галотера УТТ-3000. В процессе экспериментов было установлено, что оптимальный результат достигается при температуре 850 °С с выходом жидкой фракции в 13.1 %, золы — в 78.8 % и газовой фазы — в 8.1 %. В зольном

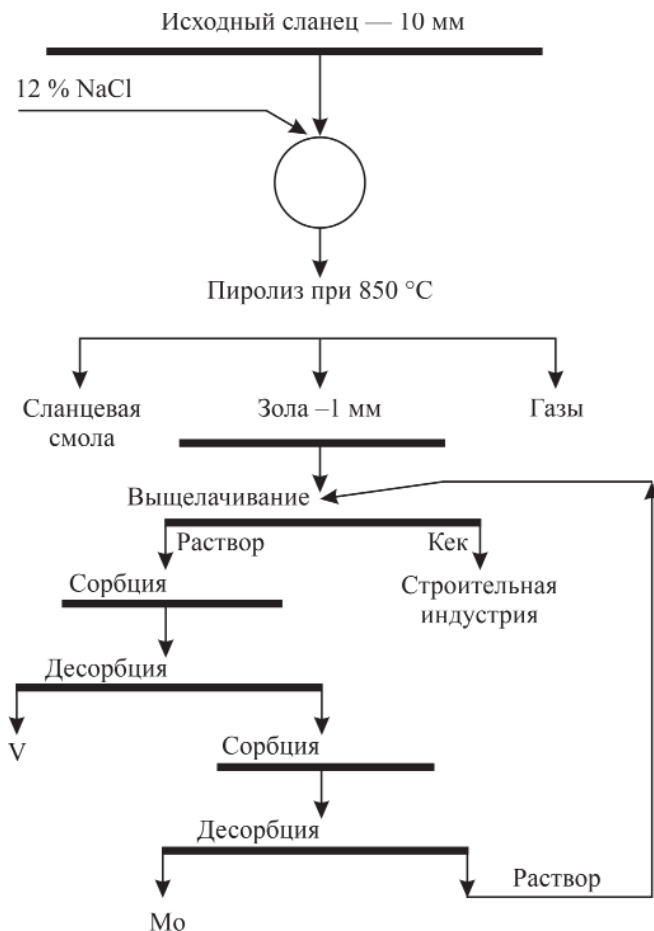


Рис. 4. Рекомендуемая технологическая схема переработки горючих сланцев месторождения Актау

Fig. 4. Recommended technological scheme for the processing of oil shales from the Aktau deposit

продукте, полученном при температуре 850 °С, содержание продуктивных металлов в сравнении с исходной пробой заметно повышается: для ванадия — до 880–915 г/т и молибдена — до 360–400 г/т.

На основании результатов проведенных экспериментов разработана пятиэтапная технологическая схема переработки металлоносных горючих сланцев месторождения Актау, позволяющая извлекать до 80 % ванадия и более 70 % молибдена.

Авторы благодарят рецензентов за работу по улучшению содержания статьи.

Литература / References

Александрова М. В. Японский капитал и его значение в развитии промышленности Северо-Восточного Китая (конец XIX в. — 1945 г.) // История внешней политики и экономических связей Китая. 2014. С. 336–358. Alexandrova M. V. *Yaponskiy kapital i yego znachenie v razvitiy promyshlennosti severo-vostochnogo Kitaya (konets KHIKH v. — 1945 g.)* (Japanese capital and its importance in the development of industry in northeast China (late 19th century — 1945)). History of foreign policy and economic relations of China, 2014, pp. 336–358.

Алимов Р. С., Борминский С. И. Применение сланцевой смолы в качестве флотореагента при флотации сульфидных руд // Инновационные идеи молодых ученых, геологов и специалистов в развитии минерально-сы-

рьевой базы Республики Узбекистан: Респуб. конф. молод. ученых. 2010. С. 70–71.

Alimov R. S., Borminsky S. I. *Primeneniye slantsevoy smoly v kachestve flotoreagenta pri flotatsii sul'fidnykh rud* (The use of shale tar as a flotation agent in the flotation of sulfide ores). Proc. of conference, 2010, pp. 70–71.

Андреев В. Быть новому заводу Enefit 280 или не быть? Северное побережье, 2020. С. 23–29.

Andreev V. *Byt' novomu zavodu «Enefit 280» ili ne byt'?* (A new plant Enefit 280: to be or not to be). North Coast, 2020, pp. 23–29.

Гаранина О. Л. Перспективы добычи сланцевой нефти в США и последствия для мирового рынка нефти // Проблемы национальной стратегии. 2014. № 4. С. 185–204.

Garanina O. L. *Perspektivy dobychi slantsevoy nefiti v SSHA i posledstviya dlya mirovogo rynka nefiti* (Prospects for shale oil production in the United States and consequences for the global oil market). Problems of National Strategy, 2014, No. 4, pp. 185–204.

Гуро В. П., Ибрагимова М. А. Ионообменное извлечение и электроэкстракция металлов из растворов переработки горючих сланцев // Узбекский химический журнал. Ташкент. 2008. № 5. С. 27–31.

Guro V. P., Ibragimova M. A. *Ionoobmennoye izvlecheniye i elektroekstraksiya metallov iz rastvorov pererabotki goryuchikh slantsev* (Ion-exchange extraction and electroextraction of metals from oil shale processing solutions). Uzbek Chemical Journal, Tashkent, 2008, No. 5, pp. 27–31.

Гуро В. П., Ибрагимова М. А. Жидкостно-экстракционное концентрирование ионов металлов в продуктах переработки горючих металлоносных сланцев // Узбекский химический журнал. 2009. № 6. С. 38–41.

Guro V. P., Ibragimova M. A. *Zhidkostno-ekstraksiionnoye kontsentrirvaniye ionov metallov v produktakh pererabotki goryuchikh metallonosnykh slantsakh* (Liquid-extraction concentration of metal ions in the products of processing combustible metal-bearing shales). Uzbek chemical journal, Tashkent, 2009, No. 6, pp. 38–41.

Евдокимов Л. А., Кудинов А. А., Васильев П. Г. Металлоносные горючие сланцы — источник расширения топливно-энергетического баланса и сырьевой базы радиоактивных и редкоземельных металлов // Горный вестник Узбекистана. 2007. № 1. С. 21–24.

Evdokimov L. A., Kudinov A. A., Vasiliev P. G. *Metallonosnyye goryuchiye slantsy — istochnik rasshireniya toplivno-energeticheskogo balansa i syr'yevoy bazy radioaktivnykh i redkozemel'nykh metallov* (Metal-bearing combustible shale as a source of expanding the fuel and energy balance and the raw material base of radioactive and rare earth metals). Mining Bulletin of Uzbekistan, 2007, No. 1, pp. 21–24.

Иванов Н. А. Сланцевая Америка: энергетическая политика США и освоение нетрадиционных нефтегазовых ресурсов. М.: Магистр, 2014. С. 304.

Ivanov N. A. *Slantsevaya Amerika: energeticheskaya politika SSHA i osvoyeniye netraditsionnykh neftegazovykh resursov* (Shale America: US energy policy and development of unconventional oil and gas resources). Moscow: Magistr, 2014, 304 p.

Исоков М. У., Алимов Р. С., Алматов И. М., Соатов С. А. Утилизация отходов гидроотвала угледобычи Ангрэнского месторождения с получением гуминовых кис-



- лот и бактериально-гуминовых удобрений // Обогащение руд. 2022. № 5. С. 40–45. DOI: 10.17580/or.2022.05.07
- Isokov M. U., Alimov R. S., Almatov I. M., Soatov S. A. *Utilizatsiya otkhodov gidrootvala ugledobychi Angrenskogo mestorozhdeniya s polucheniyem guminovykh kislot i bakterial'no-guminovykh udobreniy* (Utilization of waste from the hydro dump of coal mining at the Angren deposit with the production of humic acids and bacterial-humic fertilizers), 2022, No. 5, pp. 40–45.
- Исоков М. У., Борминский С. И., Василевский Б. Б., Марипова С. Т. Анализ форм нахождения промышленно ценных элементов в комплексных металлоносных горючих сланцах Узбекистана // Уэгеоинновация, 2012а. С. 163–164.
- Isokov M. U., Borminsky S. I., Vasilevsky B. B., Maripova S. T. *Analiz form nakhozhdeniya promyshlennno tsennykh elementov v kompleksnykh metallonosnykh goryuchikh slantsakh Uzbekistana* (Analysis of the forms of occurrence of industrially valuable elements in complex metal-bearing combustible shale of Uzbekistan). *Uzgeoinnovation*, 2012a, pp. 163–164.
- Исоков М. У., Борминский С. И., Хожиев А. О современных технологиях комплексной переработки горючих сланцев Республики Узбекистан // Уэгеоинновация. 2012b. С. 164–165.
- Isokov M. U., Borminsky S. I., Khozhiev A. *O sovremennykh tekhnologiyakh kompleksnoy pererabotki goryuchikh slantsev Respubliki Uzbekistan* (On modern technologies for the complex processing of oil shale of the Republic of Uzbekistan). *Uzgeoinnovation*, 2012b, pp. 164–165.
- Исоков М. У., Туресебеков А. Х., Борминский С. И., Василевский Б. Б., Шарипов Х. Т., Дерюгин Е. К. Геохимия и минералогия горючих сланцев Узбекистана / Госкомгеологии РУз, ГУ «ИМР», Институт геологии и геофизики АН РУз, Мин-во В и ССО РУз, Ташкентский ХТИ. Ташкент: ИМР, 2013. С. 78.
- Isokov M. U., Turesebekov A. Kh., Borminsky S. I., Vasilevsky B. B., Sharipov Kh. T., Deryugin E. K. *Geokhimiya i mineralogiya goryuchikh slantsev Uzbekistana* (Geochemistry and mineralogy of oil shale of Uzbekistan). State Committee for Geology of Uzbekistan, Institute of Geology and Geophysics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Ministry of Water and Agriculture of the Republic of Uzbekistan, Tashkent CTI, Tashkent: IMR, 2013, pp. 78.
- Исоков М. У., Юсупходжаев А. М., Алимов Р. С., Сомова У. А. Перспективы промышленного освоения горючих сланцев Республики Узбекистан // Проектирование и научное сопровождение внедрения инновационных технологий в добыче и переработке нефти и газа: Материалы науч.-практ. конф. Ташкент, 2015. С. 180–186.
- Isokov M. U., Yusupkhodzhaev A. M., Alimov R. S., Somova U. A. *Perspektivy promyshlennogo osvoeniya goryuchikh slantsev Respubliki Uzbekistan* (Prospects for the industrial development of oil shale in the Republic of Uzbekistan). Proceedings of the scientific-practical conference «Design and scientific support for the introduction of innovative technologies in mining and oil and gas processing», Tashkent, 2015, pp. 180–186.
- Морев А. А., Мракин А. Н., Селиванов А. А. Теплотехнические аспекты использования зольных теплообменников в схемах комплексной энерготехнологической переработки сернистых горючих сланцев // Проблемы энергетики. 2015. № 5–6. С. 60–65.
- Morev A. A., Mrakin A. N., Selivanov A. A. *Teplotekhnicheskiye aspekty ispol'zovaniya zol'nykh teploobmennikov v skhemakh kompleksnoy energotekhnologicheskoy pererabotki sernistykh goryuchikh slantsev* (Thermal engineering aspects of the use of ash heat exchangers in the schemes of complex energy-technological processing of sour oil shale). *Problems of Energy*, 2015, No. 5–6, pp. 60–65.
- Патраков Ю. Ф., Писаренко М. В. Перспективы комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых // Науки о Земле. Известия ТулГУ. 2017. Вып. 3. С. 240–247.
- Patrakov Yu. F., Pisarenko M. V. *Perspektivy kompleksnogo osvoeniya mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopayemykh* (Prospects for the integrated development of deposits of solid minerals). *Earth Sciences. News of TulSU*, 2017, Issue 3, pp. 240–247.
- Прохоренко А., Лузановский А., Артемова Н. М. Металлоносные горючие сланцы Республики Узбекистан. Ташкент: Изд-во ФАН РУз, 1999. С. 153.
- Prokhorenko A., Luzanovsky A., Artemova N. M. *Metallonosnyye goryuchiye slantsy Respubliki Uzbekistan* (Metal-bearing oil shale of the Republic of Uzbekistan). FAS Ruz, 1999, 153 p.
- Стрижакова Ю. А. Горючие сланцы. Генезис, составы, ресурсы. М.: Недра, 2008. С. 192.
- Strizhakova Yu. A. *Goryuchiye slantsy. Genезis, sostavy, resursy* (Oil Shales. Genesis, compositions, resources). Moscow: Nedra, 2008, 192 p.
- Стрижакова Ю. А., Усова Т. В., Ванчикина Т. Н., Жагфаров Ф. Г. Термолит кашпирских горючих сланцев // Башкирский химический журнал. 2009. Т. 16. № 3. С. 31–33.
- Strizhakova Yu. A., Usova T. V., Vanichkina T. N., Zhagfarov F. G. *Termoliz kashpirskikh goryuchikh slantsev* (Thermolysis of Kashpir oil shale). *Bashkir Chemical Journal*. 2009. V. 16, No. 3, pp. 31–33.
- Хачатурян В. Г. Опыт и перспективы использования горючих сланцев в промышленности России и за рубежом // Науки о земле. Известия ТулГУ. 2016. Вып. 3. С. 216–224.
- Khachatryan V. G. *Opyt i perspektivy ispol'zovaniya goryuchikh slantsev v promyshlennosti Rossii i za rubezhom* (Experience and prospects for the use of oil shale in the industry of Russia and abroad). *Earth Sciences. News of TulSU*, 2016, Issue 3, pp. 216–224.
- U. S. Energy Information Administration: North America leads the world in production of shale gas. Интернет-ресурс: www.eia.gov.

Поступила в редакцию / Received 02.02.2023