Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii, 31 (1997), 73–82

Юрий ДЕРЕВЯНКИН*, Нонна ИВАНОВА*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОПУТНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАТА ТЯЖЕЛЫХ МИНЕРАЛОВ, СОДЕРЖАЩЕГО ЗОЛОТО ИЗ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Представлены данные по попутному извлечению концентрата тяжелых минералов, содержащего золота на дробильно-сортировочных заводах Республики Беларусь. Исходным материалом для исследований являлись пески фракции менее 5 мм из песчано-гравийного материала. Исследования проведены на вибрационно-центробежном сепараторе ВЦС-12,5 (Россия) и концентраторе "Knelson-30" (Канада). Концентраты этих сепараторов домывали на "Knelson-7,5" или на УОС-11. На заключительных стадиях применялись методы минералогического анализа, гравитационного, магнитного и электростатического обогащения. Показано, что из песков четвертичных отложений можно осуществить попутное извлечение ценных минералов экологически чистым гравитационным методом. Полученное в процессе опытов самородное золото рассеивали на классы крупности. Показано, что основное количество золота находится в классе менее 0,15 мм . Учитывая небольшой размер зерен золота, как основного сопутствующего компонента, его эффективное извлечение возможно с применением сепараторов центробежного типа. Содержание золота в исходном питании колебалось в очень широких пределах (от 5 до 1550 мг/м^3). Извлечение золота в концентрат также значительно колебалось. Тем не менее среднее значение извлечения золота составило 57,7% для ВЦС-12,5 и 66,6% для "Knelson-30".

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время намечается устойчивая тенденция в мировой практике вовлечения в разработку руд с невысокими содержаниями ценных минералов и малыми размерами их частиц.Так по прогнозам исследователей (Замятин 1991) пески, содержащие в основном мелкое золото и значительное количество глинистых минералов к 2000-му году окажутся одним из основных источников россыпной золотодобычи. По данным национальной службы новостей России именно вовлечение в разработку таких месторождений с использованием передовых технологий позволило увеличить добычу золота из них за

* Белорусское государственное научно-исследовательское геологическое предприятие, Минск, ул. Жодинская,7

последние 15 лет в Канаде в 3,7 раза, в Бразилии в 5 раз, в США в 10 раз, в Австралии в 14 раз.

Учитывая изложенные выше тенденции в развитии современной технологии добычи полезных ископаемых, предприятием БелГЕО были начаты исследования по комплексной оценке полезных ископаемых Беларуси.

Республика Беларусь расположена в центральной части Восточно-Европейской платформы. Особенности геологического строения ее территории связаны с развитием мощных толщ покровных отложений четвертичного возраста, к которым приурочены многочисленные месторождения песка и гравия. В настоящее время разрабатывается около 100 крупных, средних и мелких месторождений, продукция которых используется в строительстве. На части из них исходный материал классифицируется при сухом и мокром грохочении. Учитывая особенности формирования этих месторождений, огромные масштабы переработки исходного сырья на них, они представляют наибольший интерес для попутного извлечения ценных минералов.

ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ, НАПРАВЛЕНИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наши исследования проведены на одном из дробильно-сортировочных заводов (ДСЗ) по производству песка и гравия. Перерабатываемые породы представляют собой галечно-гравийно-песчаную смесь, состоящую из гравия, гальки и валунов осадочных метаморфических и интрузивных пород (30–40%), полевошпат-кварцевого песка (60–70%). Исходным питанием служил гравийно-песчаный материал, имеющий размерный класс частиц меньше 5 мм.

Исследования проводились по трем основным направлениям: качественная и количественная оценка минерального состава тяжелой фракции; определение состава и технологических характеристик наиболее ценных сопутствующих минералов; выбор оборудования для попутного извлечения сопутствующих полезных компонентов и его испытание. Для решения отдельных задач применялись методы минералогического анализа, гравитационного, магнитного и электростатического обогащения, аналитического контроля состава исследуемых пород и минералов (микрозондовый, пробирный, спектральный анализы и др.).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Качественная и количественная характеристика минерального состава тяжелой фракции песков класса 5 мм.

Изучение минерального состава тяжелой фракции песков осуществлялось путем отбора проб объемом 0,04–0,1 м³ из продуктов переработки и их обработки по стандартной схеме: отсев песчаной фракции по классу 5 мм; получение из нее коллективного концентрата тяжелых минералов гравитационными методами: на лотке, центробежном или винтовом сепараторе в полевых условиях, дочистка в тяжелой жидкости и разделение на магнитную, электромагнитную и немагнитную фракции в лабораториях БелГЕО, проведение минералогического анализа полученных моноконцентратов под микроскопом. В результате выполненных работ установлено, что в песчаной фракции исходных пород содержится 1,0–2,0 кг/м³ суммы тяжелых минералов, количество которых в местах накопления (классификатор) увеличивается до 12–20 кг/м³. Главными минералами коллективного концентрата являются гранат (50–55%), ильменит (20–25%), магнетит (10–15%), циркон (5–10%). В незначительных количествах присутствуют еще свыше 20 минералов (рутил, апатит, сфен, монацит и др.), из которых наибольшую ценность представляет самородное золото и минералы платины. Содержания золота в исходных песках очень неравномерное и в среднем колеблются от 4–5 до 35 мг/м³, а в местах накопления – до 1500 мг/м³, в концентрате немагнитной фракции до 8000 мг/м³. По данным контрольных аналитических исследований в песчаных фракциях (класс –0,25 мм) исходных пород концентрация золота составляет 35–39 мг/м³.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕННЫХ СОПУТСТВУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ

Наиболее ценными минералами, представляющими интерес для попутного извлечения, являются ильменит, гранат, циркон и золото. По данным рентгено-спектрального анализа содержание двуокиси титана в ильмените составляет 42,0–50%,а в качестве элементов-примесей в нем присутствуют ванадий и скандий. В цирконе концентрируются редкоземельные элементы цериевой группы. Микрозондовым анализом установлено, что золото имеет высокую пробу (900–950), а среди минералов группы платины преобладают ферроплатина и сперрилит.

Основными технологическими особенностями вышеперечисленных минералов являются их незначительные размеры. 90% от их количества сосредоточено в классе –1,0 +0,05 мм. Они практически не образуют сростков с другими минералами, а для золота характерно преобладание уплощенных и

пластинчатых форм. Ильменит и магнетит слабо окислены и частично замещены гематитом. Частицы золота имеют чистую поверхность в 95%.

ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОПУТНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ МИНЕРАЛОВ И ЕГО ИСПЫТАНИЯ

Полученные основные технологические характеристики минералов свидетельствуют о возможности попутного извлечения ценных минералов экологически чистым гравитационным способом. Единственным неблагоприятным фактором, затрудняющим эффективное извлечение минералов, является малые размеры их зерен.

Анализ литературных данных (Берт 1990,Уилса 1992, Замятин 1991) позволил сделать вывод, что для получения золотосодержащего концентрата тяжелых минералов с размерами частиц менее 0,2 мм в последнее время широко используются центробежные сепараторы. К ним относятся сепаратор Оракон (Австралия), сепаратор Knelson (KN) (Канада), вибрационно–центробежный сепаратор (ВЦС) (Россия) и др. Эти сепараторы позволяют во много раз усилить поле силы тяжести, удерживать тонкие частицы золота в пристенной области и замещать ими легкую фракцию путем создания подвижного слоя. Учитывая это, нами были приобретены два последних типа центробежных сепараторов, отличающихся друг от друга способом создания подвижного слоя и техническими характеристиками.

Для проведения испытаний данное оборудование было подключено в действующую технологическую схему гравийно-песчаной линии ДСЗ (рис.1, 2). Материал на сепараторы подавался из классификатора (позиция 8), где осуществлялась промывка песков от глинистых примесей. При обработке каждой пробы замерялась производительность по твердому питанию и время работы, отбирались пробы из хвостов сепарации для подсчета потерь золота. Полученные результаты испытаний центробежных сепараторов приведены в табл. 1, 2.

Как видно из приведенных таблиц, содержание золота в исходном питании колеблется в широких пределах (от 5 до 1550 миллиграм на кубический метр). Среднее содержание золота в исходных песках находится в пределах от 52,3 до163,16 мг/м^3. Извлечение золота в концентрат также колеблется значительно. Тем не менее

необходимо отметить, что среднее извлечение золота превышает 50 % на обоих сепараторах и составляет 57,7 % для ВЦС-12,5 и 66,6 % для Knelson-30". Если сравнить работу двух испытанных нами сепараторов, то видно, что потенциальные возможности концентратора Knelson-30" выше, чем на ВЦС-12,5. Количество опытов, в которых извлечение золота в концентрат составило более 80 %, на Knelson-30" в 2 раза больше, чем на сепараторе ВЦС-12,5.

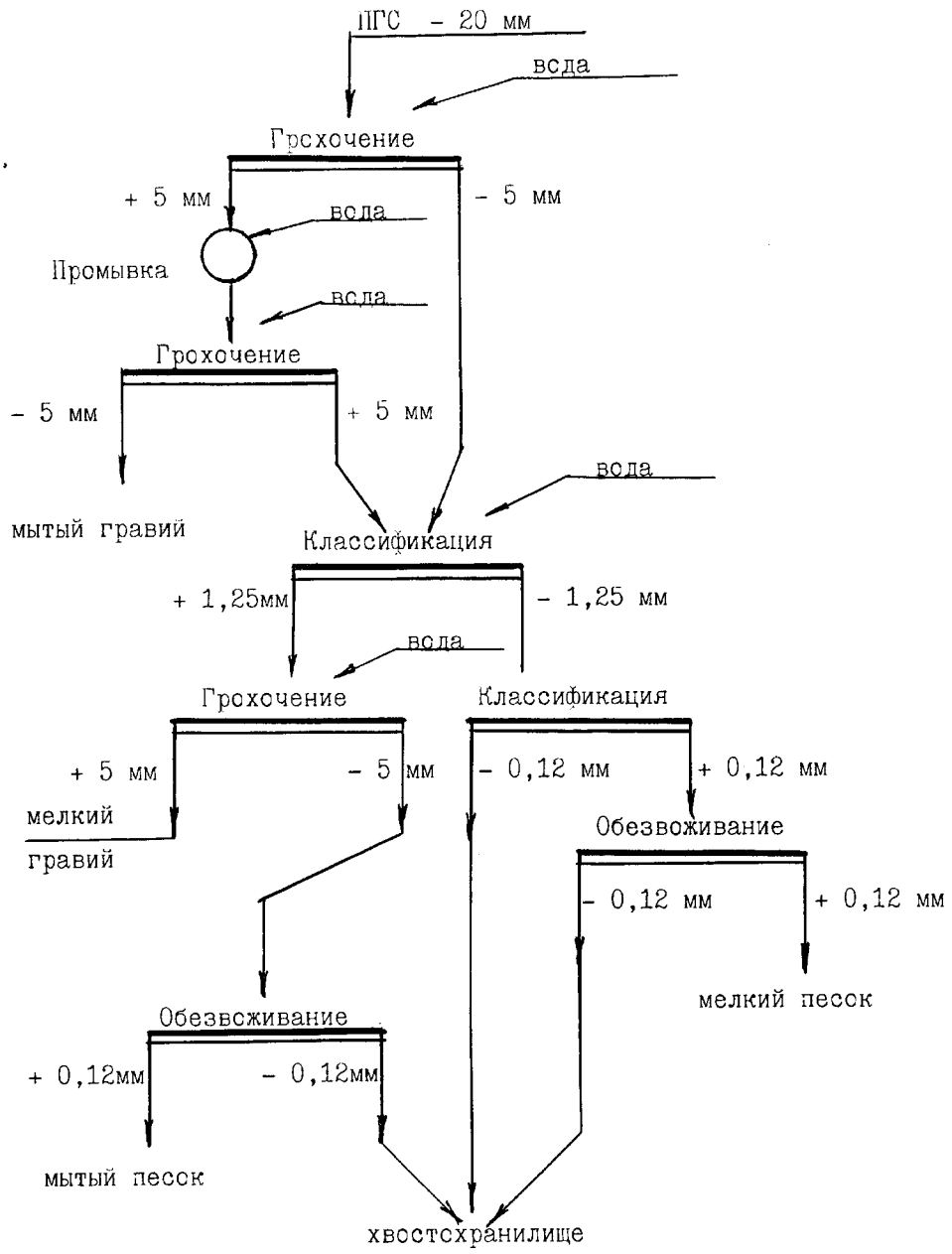
ПГС – 20 мм
вода
Грохочение
+ 5 мм
– 5 мм
вода
Промывка
вода
Грохочение
– 5 мм
+ 5 мм
вода
мытый гравий
Классификация
+ 1,25мм
– 1,25 мм
вода
Грохочение
Классификация
+ 5 мм
– 5 мм
– 0,12 мм
+ 0,12 мм
мелкий
гравий
Обезвоживание
– 0,12 мм
+ 0,12 мм
мелкий песок
Обезвоживание
+ 0,12мм
– 0,12мм
мытый песок
хвостохранилище

Рис. 1

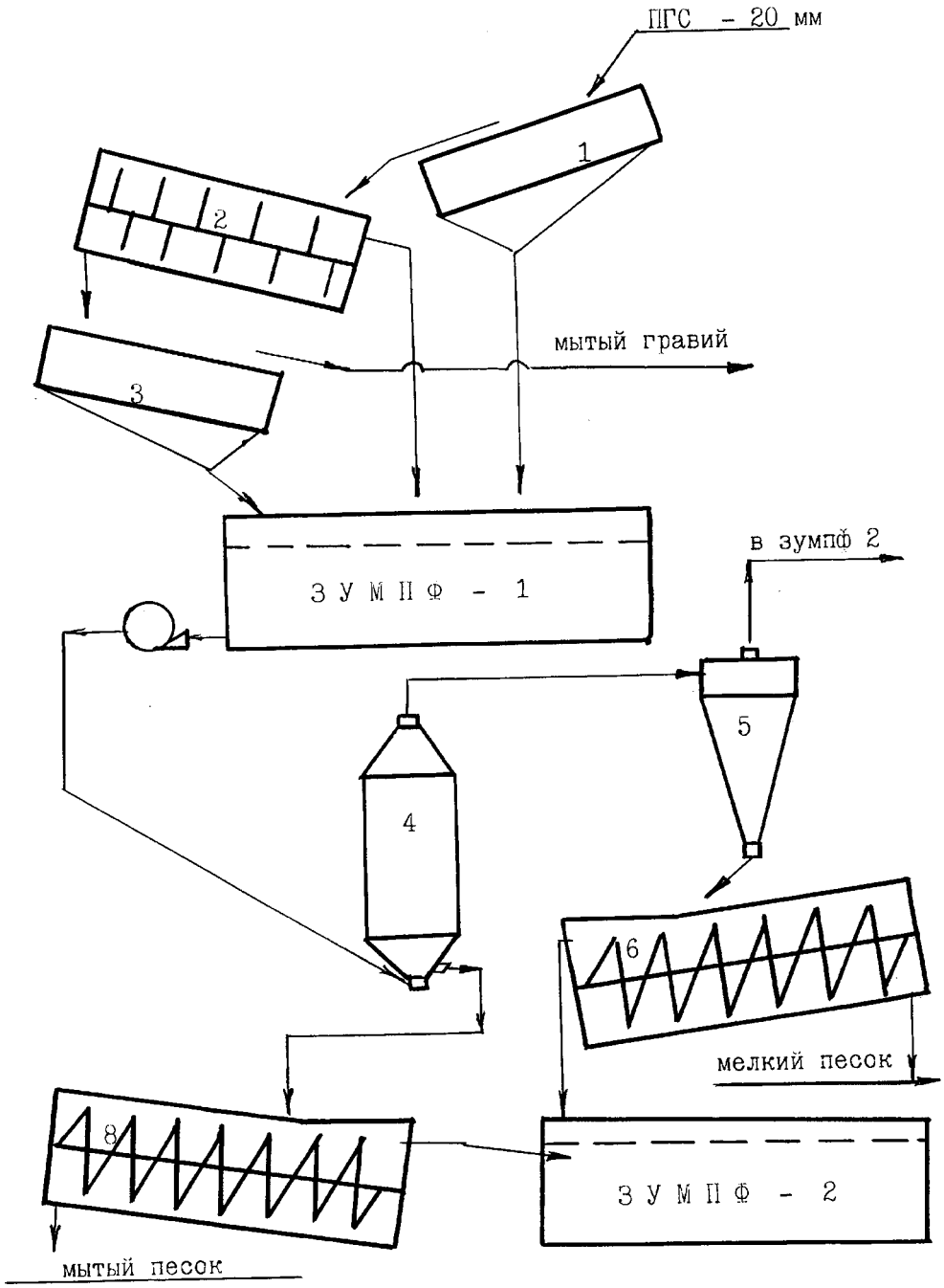
ПГС – 20 мм
1
2
3
мытый гравий
ЗУМПФ – 1
в зумпф 2
4
5
6
мелкий песок
8
ЗУМПФ – 2
мытый песок

Рис. 2

Таблица 1. Результаты обогащения песка на концентраторе Knelson-30"

NN пп	Объем технологической пробы песка, м³	Концентрат		Отсечка (хвосты)		Исходное содержание Au, мг/м³	Извлечение Au в концентрат, %
		вес извлеченного Au,мг	содержание Au, мг/м³	вес Au, мг	содержание Au, мг/м³		
1	2,2	12,85	5,84	0,1	4,00	9,84	59,3
2	1,9	6,44	3,39	0,1	4,00	7,39	45,9
3	2,2	145,70	66,23	0,4	16,00	82,23	80,5
4	2,5	49,25	20,00	0,07	10,90	30,90	64,7
5	2,2	640,70	291,20	0,5	32,05	323,25	90,2
6	2,0	26,96	13,48	0,05	8,30	21,78	61,9
7	1,7	50,60	29,76	0,022	3,49	33,25	89,5
8	2,2	525,30	238,77	0,6	36,80	275,60	86,6
9	1,7	99,80	58,80	0,1	15,87	74,67	78,7
10	2,1	282,40	134,70	3,4	188,90	323,60	41,6
11	2,7	56,50	21,11	0,034	4,53	25,64	82,3
12	2,6	47,00	18,10	0,1	13,16	31,26	57,9
13	2,0	2063,70	1031,70	8,5	524,70	1556,40	66,3
14	2,6	34,80	13,50	0,017	2,24	15,74	85,8
15	1,5	130,00	86,70	0,056	28,00	114,70	75,6
16	2,3	102,00	44,35	0,8	46,24	90,59	49,0
17	2,2	10,64	4,84	0,02	0,80	5,64	85,8
18	2,3	7,76	3,37	0,2	8,00	11,37	29,6
19	2,0	163,80	82,00	1,0	151,50	233,50	35,1
20	7,0	148,70	21,20	0,26	34,60	55,80	41,9
21	1,0	93,30	93,30	0,06	10,00	103,30	90,6

Полученное в процессе опытов самородное золото было расситовано на классы. Его сравнительная оценка показала (таблица 3), что основное количество выделенного золота находится в классе меньше 0,15 мм. Оно представлено зернами пластинчатой формы, комочками, реже идиоморфными выделениями. Окатанность зерен средняя (3–4 балла по 6-бальной шкале), пробность высокая (>900‰). При промывке гравийно-песчаных смесей в классификаторе накапливается больше золота крупностью +0,15, а в сливах – 0,15 мм.

Таблица 2. Результаты обогащения песка на сепараторе ВЦС-12,5

NN пп	Объем перерабо-танного песка, м³	Концентрат		Отсечка (хвосты)		Исходное содержа-ние Au, мг/м³	Извлечение Au в кон центрат, %
		вес извлечен-ного Au, мг	содержание Au, мг/м³	вес Au, мг	содержа ние Au, мг/м³		
1	9,0	1616,00	179,60	888,75	98,75	278,35	64,5
2	2,7	129,40	47,90	234,10	86,70	134,60	35,6
3	6,5	126,30	19,30	296,50	45,40	64,70	29,8
4	10,5	168,90	16,10	170,60	16,25	32,35	49,8
5	8,0	100,70	12,60	120,00	15,00	27,60	45,6
6	22,5	614,40	27,30	204,20	9,10	36,48	75,0
7	21,9	115,70	5,28	54,75	2,50	7,78	67,9
8	8,4	618,20	73,60	378,00	45,00	118,60	62,0
9	6,3	166,10	26,58	75,60	12,10	38,68	68,7
10	15,6	618,20	39,60	585,00	37,50	77,10	51,4
11	6,0	38,20	6,37	30,00	5,00	11,37	56,0
12	7,7	100,80	13,10	115,50	15,00	28,10	46,6
13	8,3	15,60	1,88	20,75	2,50	4,38	42,9
14	6,4	343,20	53,60	48,00	7,50	61,10	87,7
15	12,2	222,40	18,23	45,75	3,75	22,00	82,9
16	8,3	17,50	2,11	20,75	2,50	4,61	45,8
17	15,5	77,30	5,00	232,50	15,00	20,00	25,0
18	24,0	799,30	33,30	360,00	15,00	48,30	68,90
19	14,3	230,90	16,15	214,50	15,00	31,15	51,8
20	22,5	1385,10	61,56	337,50	15,00	76,56	80,4
21	31,8	248,60	7,82	343,44	10,80	18,62	42,0
22	16,3	606,90	37,20	81,50	5,00	42,20	88,2
23	24,5	257,90	10,53	183,75	7,50	18,00	58,4

Таблица 3. Результаты ситового анализа золота

Материал пробы	% содержания золота по классам крупности,мм					
	+0,5	–0,5 +0,25	–0,25 +0,15	–0,15 +0,05	–0,05	Сумма, %
Пески из классификатора	3,9	16,9	11,6	66,8	0,8	100,0
Сливы классификатора	0,1	2,7	4,7	91,5	1,0	100,0
Исходные пески	0,5	1,9	3,4	92,6	1,6	100,0

ВЫВОДЫ

• Проведенные исследования минерального состава тяжелой фракции гравийно-песчаных смесей, получаемых на действующих предприятиях показали, что в ее составе присутствуют ильменит, циркон, гранат, золото и минералы платины. Основным ценным попутным компонентом является золото. При переработке исходных пород накопление этих минералов происходит в процессе промывки песчаных фракций.

• Технологические характеристики исходных пород и извлекаемых минералов позволяют осуществлять попутное извлечение последних экологически чистым гравитационным методом. Учитывая размерный класс зерен золота, как основного сопутствующего компонента, его наиболее эффективное извлечение возможно с применением сепараторов центробежного типа.

ЛИТЕРАТУРА

БЕРТ Р.О., 1990, *Технология гравитационного обогащения.* Недра, Москва, 574.

УИЛС Б.А., БАРЛЕЙ Р.В., редакторы (1992), *Технология минерального сырья на перепутье. Проблемы и перспективы*. Перевод с англ. Недра, Москва, 272.

ЗАМЯТИН О.В., МАНЬКОВ В.М., ТОМИН В.С. (1991), *Технологическая эффективность отсадочной технологии обогащения золотосодержащих песков,* Цветные металлы, 11, 64–66.

Dereviankin Y., Ivanova N., Investigation of a possibility of an accompanying recovery of gold-bearing concentrate of heavy minerals from sandy-gravel materials. *Physicochemical Problems of Mineral Processing,* 31, 73–82 (in Russian).

The data on accompanying recovery of the concentrate of heavy minerals crush-sorting factorics of Belarus, which contains gold are described Sands of 5 mm fraction of sand-gravel deposits was the raw material for investigation. we used VTsS-12,5 the vibrator-cetntrifugal separator (Russia) and the Knelson-30 concentrator. The concentrates of these separators were rinsed again by means of the Knelson-7,5, or the UOS-11. Methods of mineralogical analysis, gravity, magnetic and electrostatic enrichment were used at the final stage. It was shown that it is possible to carry out the accompanying recovery of valuable minerals by ecologically clean gravity method from quarternary sands. The size distribution of native gold, received in the course of tests was investigated. It was shown that the main quantity of gold was in the fraction size smaller than 0,15 mm. Taking into account a small size of gold grains, as the main accompanying component, its recovery is possible by using of centrifugal separators. The gold content in the raw material varied with in a very wide range (5 to 1550 mg/m^3). The gold recovery into the concentrate varies widely as well. Nevertheless, the average gold recovery reached 57.7 and 66.6% for VTsS-12,5 and Knelson-30 separator, respectively.

Dereviankin Y., Ivanova N., Ocena możliwości pozyskiwania złotonośnych koncentratów minerałów ciężkich przy przeróbce kruszyw naturalnych. *Fizykochemiczne problemy Mineralurgii,* 31, 73–82 (w jęz. rosyjskim)

Przedstawiono wyniki ubocznego pozyskiwania koncentratów minerałów ciężkich zawierających złoto przy produkcji żwirów w zakładach kruszyw naturalnych Republiki Białorusi. Nadawą do badań były klasy ziarnowe < 5mm wydzielone z naturalnych surowców żwirowo-piaskowych ze złóż okruchowych pochodzenia czwartorzędowego. Badania prowadzono przy użyciu separatora wibracyjno-odśrodkowego produkcji rosyjskiej VCS-12,5 i separatora Knelson-30" produkcji kanadyjskiej. Otrzymane koncentraty doczyszczano przy pomocy separatora Knelson-7,5" lub rosyjskiego UOS-11. Wydzielone koncentraty minerałów ciężkich poddano analizom mineralogicznym oraz rozdziałowi metodami grawitacyjnymi, magnetycznymi i elektrostatycznymi. Wykazano, że z badanych materiałów można skutecznie wydzielać cenne składniki rozproszone w tym złoto rodzime. Zauważono, że przeważająca część złota w badanych materiałach trafia do klas ziarnowych < 0,15mm. Stwierdzono, że przy użyciu zastosowanych urządzeń wirówkowych do wzbogacania grawitacyjnego można skutecznie odzyskiwać złoto z nadaw zawierających od 5 do 1550 g/m^3 złota przy uzyskach rzędu 58% (dla urządzenia VCS-12,5) lub 67% (Knelson-30").