

# ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ

*С благодарностью и вечной памятью Учителю, наставнику и Человеку с большой буквы – академику Национальной Академии наук Республики Казахстан  
РОГОВУ ЕВГЕНИЮ ИВАНОВИЧУ,  
создававшему Школу геотехнологии в Республике Казахстан и проложившему путь и направление движения своим последователям*

УДК 622.722

Комплексное использование  
минерального сырья. № 4. 2017.

Е. И. РОГОВ<sup>1</sup>, Е. Е. ЖАТКАНБАЕВ<sup>2\*</sup>, Ж. К. ЖАТКАНБАЕВА<sup>3</sup>, Т. Е. ЖАТКАНБАЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт горного дела им. Д.А. Кунаева, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский университет технологии и бизнеса, Астана, Казахстан, \*e-mail: erlan.ntp@mail.ru

<sup>3</sup>Евразийский Национальный Университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБЫЧИ ЗОЛОТА НА РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СПОСОБАМИ БУЛЬДОЗЕРНО-СКРЕПЕРНЫМ И ПОДЗЕМНОГО СКВАЖИННОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

**Резюме:** Способ подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) является одним из экономически выгодных и экологически безопасных способов добычи урана. В настоящее время ведутся научно-исследовательские работы по применению этого способа в добыче других металлов, оцениваются технические и экономические аспекты геотехнологии скважинного выщелачивания. Основываясь на теоретических данных и опыте работ в области подземного скважинного выщелачивания урана, в статье проведен сравнительный анализ экономической эффективности добычи золота способами бульдозерно-скреперным (открытым) и подземного скважинного выщелачивания. Анализ основывается на данных математического моделирования выщелачивания золота при различной ширине россыпи и радиусе технологических ячеек. Установлена зависимость себестоимости добычи от ширины россыпи. При классическом – открытом способе добыче себестоимость растет с увеличением ширины россыпи вследствие возрастания холостых прогонов техники и снижения эффективности работы, а при подземном скважинном выщелачивании себестоимость снижается. Установлено, что верхним порогом ширины россыпи для экономически-эффективной добычи бульдозерно-скреперным способом является ширина 80 м, при большей ширине добыча будет экономически не выгодна. Противоположная картина наблюдается при применении способа подземного скважинного выщелачивания золота, с увеличением ширины россыпи (до 100 и более метров) экономическая эффективность растет, минимальный порог определен в 40 метров. Также установлено, что такие негативные параметры россыпи как обводненность и погребенность при открытом способе, являются положительными для способа ПСВ. Таким образом, способ ПСВ является альтернативным открытому способу и позволяет вовлечь в переработку россыпи благородных металлов, которые ранее считались экономически и технологически не эффективными.

**Ключевые слова:** подземное скважинное выщелачивание, открытый способ, экономическая эффективность, россыпь, золото, геотехнология, математическое моделирование

**Введение.** Бульдозерно-скреперный или открытый способ разработки россыпей широко применяется во многих странах. Обычно разработка россыпи данным способом ограничивается мощностью торфов до 6-8 м, отсутствием сильной обводненности и валунистости. Суть способа заключается в выемке рудного слоя с места залегания, транспортировки его к месту переработки гравитационным методом и отвалом отработанных пород бульдозерами. В случае погребенности или залегания рудного слоя под слоем настилающих пустых

пород (торфов) требуется проведение вскрышных работ – выемка и транспортировка торфов на отвалы как и рудных песков посредством бульдозера. Преимуществами бульдозерно-скреперного способа разработки являются сравнительно небольшие капитальные затраты на приобретение горного оборудования, мобильность техники, невысокий удельный расход электроэнергии и простота технологических схем вскрышных и добычных работ. Недостатком данного способа является резкое снижение производительности оборудования

при повышенной влажности и крепости горных пород, а также больше расстояние транспортирования пустых пород на отвалы. Оработка блоков, как правило, начинается с наиболее низкой отметки поверхности, ширина блока принимается около 100 м, а длина 200 м. На узких россыпях ширина блока равняется ширине россыпи, а длина увеличивается с целью сокращения трудозатрат на перестановку промприбора. Промывочный прибор может быть установлен на борту, в углу и центре разреза [1].

В состав горно-подготовительных работ, в зависимости от горнотехнических условий разработки россыпи и климата района, входят:

- осушение месторождения;
- проведение капитальных, разрезных, руслоотводных, дренажных и нагорных канав;
- очистка земной поверхности от растительности, уборка валунов, снятие плодородного слоя почвы;
- водоснабжение горных работ (устройство плотин, дамб, зумпфов, отстойников, водо-заводных канав);
- устройство сооружений для очистки сточных вод.

Горно-подготовительные работы в максимальном объеме следует выполнять в летне-осенний период. Данный способ характеризуется значительным изменением (уродованием) ландшафта путем раскопок карьера и сооружения отвалов.

Способ подземного скважинного выщелачивания (ПСВ) металлов является относительно молодым и перспективным с точки зрения экономичности и меньшей нагрузки на экологию [2]. В настоящее время этот способ применяется только в добыче урана, однако уже ведутся разработки применения этого способа в добыче цветных и благородных металлов [3, 4]. Это свидетельствует о растущем спросе и привлекательности ПСВ. Суть способа заключается в исключении выемки огромных объемов пустых и рудных пород, процессов дробления и складирования пылящих и опасных отвалов, полезные и попутные компоненты переводятся в жидкую фазу на месте залегания, т.е. в рудном горизонте. Выщелачивающие и продуктивные растворы доставляются в рудный горизонт и на поверхность посредством закачных и откачных скважин. Процесс выщелачивания протекает в пористой среде и контролируется только разницей давлений, создаваемых откачными и закачными скважинами [5]. Золотоносные россыпи зачастую находятся в проницаемых и обводненных аллювиальных отложениях, что способствует

применению способа ПСВ. В противовес применению открытого способа обводненность залежи и большие объемы вскрышных работ, увеличивающие себестоимость добычи и переводящие данные запасы в разряд нерентабельных, являются положительными критериями для способа ПСВ. Если ранее погребенные и обводненные россыпи золота не учитывались как запасы и не были привлекательными для инвесторов, то теперь они могут быть использованы. Внедрение способа ПСВ позволяет вовлечь в отработку экономически невыгодные месторождения и тем самым значительно расширить запасы и сырьевую базу Казахстана [6, 7].

**Целью работы** является сравнительный анализ экономической эффективности двух способов добычи россыпного золота – открытого (бульдозерно-скреперного) и ПСВ, выявление закономерностей зависимости себестоимости от геологического параметра – ширины россыпи.

Золотоносные россыпи могут быть объединены в четыре геолого-генетические группы [7]:

- золотоносные россыпи элювиальной коры выветривания, приуроченные к выходам рудных тел на поверхность с 6-10 % от общих запасов золотых месторождений страны. Нередко подобные коры проникают на глубину 150-200 м по зонам рудовмещающих дислокаций и локализуют в себе крупные (до 120 т) тела легкообогащаемых и богатых руд;
- аллювиально-пролювиальные россыпи мелкого и тонкого золота (аллювиально-гетерогенных толщ повышенной мощности), локализирующие около 5 % запасов россыпного золота;
- аллювиальные россыпи (мелко- и глубокозалегающие), концентрирующие в себе преобладающую часть запасов россыпного золота – 84 %;
- прибрежно-морские россыпи древних береговых зон на континенте с незначительной ролью в запасах россыпей (около 1 %).

Самостоятельная группа – техногенные россыпи, являющиеся продуктом промышленной разработки месторождений. Формирование техногенных россыпей является закономерным следствием изменения экономических требований и несовершенства применяемой техники и технологии добычи и обогащения золотоносных песков.

Запасы россыпного золота, в основном, сосредоточены в Южно-Казахстанской и Восточно-Казахстанской областях. Имеются они также в центральном и северных регионах страны и располагаются в труднодоступных и удаленных от инфраструктуры районах. В основном золото при-

Таблица 1 - Технологические параметры месторождения в зависимости от ширины россыпи

Показатели	Номер скважины						
	1	2	3	4	5	6	7
№ блока	0	1	2	3	4	5	6
Мощность торфов, м	6,2	5,6	4,8	5,5	5,3	5,7	6,2
Мощность пласта, м	0,6	1,8	1,4	1	0,8	1,3	0,6
Расстояние между разведочными скважинами, м	20	20	20	20	20	20	20
Ширина россыпи, м	20	40	60	80	100	120	140
Содержание металла, г/м <sup>3</sup>	2,5	2,13	1,05	3,61	1,08	3,82	3,52
Сечение торфов, м	153	265	361	471	577	691	815
Объем вскрыши, м <sup>3</sup>	99450	172250	234650	306150	375050	449150	529750
Сечение добычного забоя, м <sup>2</sup>	24	60	88	108	124	150	162
Объем добычи, м <sup>3</sup>	15600	39000	57200	70200	80600	97500	105300
Запасы металла, г	22914	54539	66664	96441	103568	144530	161951

урочено к аллювиальным россыпям четвертичного возраста. Основные запасы золота из россыпей сосредоточены в малых и средних долинах, характерных для районов предгорий Тянь-Шаньской гряды, гор Каратау и Алтая. В целом по Казахстану известно более 250 месторождений и проявлений россыпного золота. Треть из этих месторождений признана нерентабельными из-за обводненности и погребенности рудных тел [8].

**Экономическая эффективность добычи россыпного золота различными способами.** К сожалению, в литературе практически отсутствуют данные об экономическом сравнении добычи золота открытым и ПСВ способами. Поэтому в статье проведен анализ экономической эффективности добычи золота на месторождении россыпного золота. Для месторождения определяется совокупность целесообразно разрабатываемых блоков. Запасы полезного ископаемого зависят как от горно-геологических, так и от организационно-экономических и технико-технологических условий. Организационно-экономические и технико-технологические условия влияют на выбор контуров разрабатываемых месторождений [9]. Варианты технологических схем вскрышных и добычных работ очень разнообразны: размещение отвалов пустых пород на борту россыпи или в отработанное пространство, сплошная или секторная форма отвалов, применение транспортных или бестранспортных систем разработки. Параметры схем зависят от горно-геологических условий и имеющейся на предприятии техники. Выбор способа разработки, параметров и технологии описан в работах К.Н. Костромитинова и В. Г. Лешкова [1, 10]. В настоящей работе расчеты приводятся лишь для бульдозерного способа разработки, как наибо-

лее распространенного. Рассмотрены 7 вариантов ширины технологических блоков для россыпного месторождения золота без привязки к конкретному месторождению. Поскольку целью работы является сравнение экономических показателей двух способов при различной ширине россыпи, то данные являются условными и к конкретному месторождению не имеют отношения. В таблице 1 представлены технологические параметры месторождения в зависимости от ширины россыпи.

*Бульдозерно-скреперный способ.* Известно, что с возрастанием ширины блока при отработке россыпных месторождений увеличивается холостой прогон бульдозеров и самосвалов, что в свою очередь повышает себестоимость разработки и металла. Экономическая оценка целесообразности разработки россыпи производится с учетом затрат на горно-подготовительные и добычные работы, промывку песков, вскрышные работы, капитальные вложения, налоги и прочие, связанные с обеспечением деятельности предприятия. Цена на золото принята 1250 \$/тр.унция, курс доллара 335 тг/\$.

В таблице 2 сведены затраты на разработку блоков в зависимости от ширины контура.

Как видно, затраты увеличиваются от 565 до 9397 тыс. \$. Наибольшую прибыль предприятие имеет при ширине россыпи 40 м, а его рентабельная работа ограничивается 80 м. Общая тенденция к снижению прибыли с увеличением ширины россыпи объясняется увеличением объемов вскрышных работ и снижением производительности бульдозеров, т.е. опережающим ростом затрат на вскрышные работы по сравнению с доходами от реализуемой продукции от прироста металла. Схожее мнение представили авторы Кавчик Б.К. и

Таблица 2 - Затраты на разработку блоков открытым способом в зависимости от ширины контура

№ Блока	0	1	2	3	4	5	6
Ширина россыпи, м	20	40	60	80	100	120	140
Интервал между разведочными скважинами	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8
Объем горно-подготовительных работ (ГПР), м <sup>3</sup>	86867	90517	93692	97830	101296	105144	109084
Трудозатраты, ч	4539	9091	13221	17512	21867	27653	33036
Добыча и промывка	1780	4458	6557	8079	9319	11334	12317
Вскрыша	1919	3758	5758	8487	11568	15302	19664
Горно-подготовительные	840	875	906	946	980	1017	1055
Стоимость							
На промывку, \$	19290,4	48226,1	70731,6	86807,0	99667,2	120565,2	210600
На разработку песков, \$	54495,5	138143,6	207102,0	261723,0	311261,0	391836,9	714671
На вскрышу торфов, \$	443945,2	902155,5	1401764,1	2073125,6	2835283,4	3757306,3	7866639
На ГПР, \$	10899,1	27628,6	41420,6	52344,5	62252,5	78367,4	142934
Капитальные затраты, \$	36893,0	93185,2	138917,1	174265,0	205464,1	256201,1	462635,5
Всего затрат, \$	565 523	1 209 338	1 859 935	2 648 264	3 513 928	4 604 276	9 397 629
Продукция, \$	920 877	2 191 835	2 679 119	3 875 809	4 162 232	5 808 429	6 508 552
Прибыль, \$	355353	982496	819184	1227544	648304	1204153	-2889076
Чистая прибыль, \$	230980	638622	532469	797904	421397	782699	395215
Себестоимость добычи, \$/м <sup>3</sup>	3,49	3,54	3,62	3,73	3,86	4,02	6,787
Себестоимость вскрыши, \$/м <sup>3</sup>	4,46	5,24	5,97	6,77	7,56	8,37	14,85
Минимальное содержание, г/м <sup>3</sup>	0,614	0,552	0,694	0,683	0,844	0,793	0,893
Бортовое содержание, г/м <sup>3</sup>	0,614	0,509	0,642	0,638	0,795	0,749	0,849
Себестоимость добычи, \$/г Au	24,68	22,17	27,90	27,46	33,93	31,86	58,03

Неретин А.В. в своих работах [11, 12], где указывается о возможности увеличения прибыльности добычи путем повышения эффективности горных работ, но не рассматривается вариант применения другого способа – ПСВ.

Ниже приведены данные расчетов дохода и прибыли при добыче золота бульдозерно-скреперным способом при различных значениях ширины россыпи.

*Расчет дохода и прибыли при ширине россыпи 20 м*

<i>Капитальные затраты, \$</i>	
ИНВЕСТИЦИИ	567419
Капитальные вложения, всего	565523
в т.ч.: горные работы	528630
оборудование	36893
Подписной бонус, тыс.\$	1896

*Резюме по месторождению*

<i>Металлов добыто</i>	
Золота, г	22914
<i>Доходы, \$</i>	
Золота	920877
Роялти на золото	36835
<i>Total OPEX– Операционные затраты, \$</i>	
Переработка	565523
Операционные издержки	565523
Себестоимость, \$/г Au	24,680

<i>Амортизация, \$</i>	
Начальный баланс	0
Инвестиции	567420
Амортизационные начисления	567420
Конечный баланс	

*Отчет о прибылях и убытках, \$*

Доход	920877
За вычетом роялти	-36835
За вычетом Операционных затрат	-565523
За вычетом административно-управленческих расходов	-92088
ЕВИТДА–Доходы до вычета процентов по кредитам, налогов и амортизации	226431
За вычетом амортизации	-36893
ЕВИТ– доходы до вычетов процентов и налогов	189538
За вычетом процентов по кредиту	
ЕВТ– доходы до вычетов налогов	189538
За вычетом корпоративного подоходного налога	-37908
Чистый доход	151631
С возвратом амортизации	0
За вычетом изменения Оборотного капитала	
Операционный денежный поток	151631
Минус капзатраты	
Плюс стоимость ликвидации	
Чистый денежный поток	151631
Кумулятивный чистый денежный поток	151631

Чистый доход при ширине россыпи 20 м составляет 151 тыс \$.

*Расчет дохода и прибыли при ширине россыпи 100 м*

Проектный год

*Капитальные затраты, \$*

ИНВЕСТИЦИИ	3 515 825
Капитальные вложения, всего	3 513 928
в т.ч.: горные работы	3 308 464
оборудование	205 464
Подписной бонус, тыс.\$	1 896

*Резюме по месторождению*

Металлов добыто	
Золота, г	103 568

*Доходы, \$*

Золота	4 162 233
Total revenue – общий доход	4 162 233

*Роялти, \$*

Роялти на золото	166 489
------------------	---------

*Операционные затраты, \$*

Переработка	3 513 928
Total OPEX Общие операционные затраты	3 513 928
себестоимость, \$/г Au	33,929

*Амортизация, \$*

Начальный баланс	0
Инвестиции	3 515 825
Амортизационные начисление	3 515 825
Конечный баланс	

*Отчет о прибылях и убытках, \$*

Доход	4 162 233
За вычетом роялти	-166 489
За вычетом Операционных затрат	-3 513 928
За вычетом административно-управленческих расходов	-416 223
За вычетом других налогов	
ЕВИТДА–Доходы до вычета процентов по кредитам, налогов и амортизации	65 592
За вычетом амортизации	-205 464
ЕВИТ– доходы до вычетов процентов и налогов	-139 872
За вычетом процентов по кредиту	
ЕВТ– доходы до вычетов налогов	-139 872
За вычетом корпоративного подоходного налога	0
Чистый доход	-139 872
С возвратом амортизации	0
За вычетом изменения Оборотного капитала	
Операционный денежный поток	-139 872
Минус капзатраты	
Плюс стоимость ликвидации	
Чистый денежный поток	-139 872
Кумулятивный чистый денежный поток	-139 872

При ширине россыпи 100 м и более добыча золота не рентабельна, а убыточна

Аналогичными расчетами показано, что при ширине россыпи 140 м убытки составят 4 263 тыс \$

*Метод подземного скважинного выщелачивания.* Добычу золота ПСВ проводили при технологических параметрах, представленных в таблице 3. Указано количество скважин в зависимости от ширины россыпи, радиуса ячейки и другие важные параметры проведения процесса.

Таблица 3 – Технологические параметры ПСВ золота при различной ширине россыпи

Блок	0	1	2	3	4	5	6
Интервал между скважинами, м	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8
Ширина россыпи, м	20	40	60	80	100	120	140
Запасы металла, г	22914	54539	66664	96441	103568	144530	161951
Горнорудная масса (ГРМ), т	25740	64350	94380	115830	132990	160875	173745
Длина блока, м	1300	542	681	877,5	1007,5	625	1254
Радиус ячейки, м	20	40	30	40	33	40	35
Кол-во рядов	1	1	2	2	3	3	4
Кол-во закачных	262	58	142	136	254	134	368
Кол-во откачных	65	14	46	44	93	48	144
Кол-во наблюдательных	20	5	12	12	23	12	41
Всего скважин	347	77	200	192	370	194	553
Удельн. площ. на 1 скваж., м <sup>2</sup> /шт	74,9	281,6	204,3	365,4	272,2	386,6	317,2

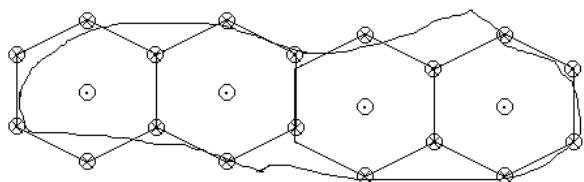


Рисунок 1 – Гексагональная схема вскрытия россыпи сетью скважин в 1 ряд

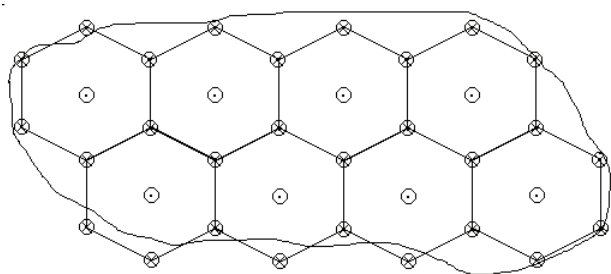


Рисунок 2 – Гексагональная схема вскрытия россыпи сетью скважин в 2 ряда

Схема вскрытия принята – гексагон с различным радиусом ячеек в 1 ряд, представлена на рисунке 1 и в 2 ряда – на рисунке 2.

В таблице 4 приведены данные расчета затрат на добычу золота способом ПСВ, определенные на основе технологических параметров, представленных в таблицах 1 и 3. Данный расчет основывается на применении технологии выщелачивания золота раствором тиомочевины в кислой среде. Расход принят из расчета достижения степени извлечения в пределах 90 % при Ж:Т = 9 (при выщелачивании урана Ж:Т = 4,2 при степени извлечения 90 %), удельный расход кислоты (серная кислота) и тиомочевины составляет 60 кг/тон-

ну горнорудной массы (ГРМ) и 130 кг/тонну ГРМ соответственно. Цены установлены в пределах 66 \$/т смеси кислоты и тиомочевины. Выбор реагента основан на экологичности и безопасности тиомочевины, а также высокой скорости выщелачивания, эквивалентной скорости выщелачивания цианидным методом.

Расчеты математической модели добычи золота проведены для 7 вариантов в зависимости от ширины россыпи, радиуса ячейки и количества рядов, результаты представлены в таблице 5. В зависимости от радиуса ячейки срок отработки увеличивается с ростом радиуса и соответственно операционные затраты будут возрастать.

Основываясь на математической модели добычи, были рассчитаны и экономические параметры, представленные в таблице 6.

Как видно из таблицы 6 затраты также увеличиваются с 780 до 2744 тыс.\$, но себестоимость снижается с 28 до 8,17 \$/г золота за счет снижения стоимости ГПР, связанной с уменьшением удельного количества скважин. Характерной особенностью ПСВ является сокращение сроков отработки с увеличением удельного количества скважин на блоке, т.е. с уменьшением расстояний между скважинами. Это хорошо видно на примере блоков № 0 и блока № 1. Увеличение расстояния между откачной и закачной скважинами с 20 до 40 м увеличивает срок отработки почти в 2 раза. С увеличением количества скважин на единицу площади наблюдается возрастание соотношения Ж:Т за единицу времени, а степень выщелачивания напрямую зависит от Ж:Т. Поэтому при расчете Проекта по выщелачиванию необходимо оптимизировать расстояние между скважинами (умень-

Таблица 4 – Математическая модель добычи золота способом ПСВ на блоке 0 при ширине россыпи 20 м, радиус ячейки 20 м, в 1 ряд

Наименование показателей	ед.изм.	План на год	1-й год в том числе по месяцам					
			январь		февраль		март	
Количество дней			15	16	14	14	15	16
Горно-рудная масса	тонн		25 740					
Запасы	г		22 914,3					
Закачных	шт		262					
Откачных	шт		65					
наблюдательные	шт		20					
Ж:Т Суммарный			2,27	4,70	6,82	8,94	8,94	8,94
Ж:Т в месяц			2,27	2,42	2,12	2,12	0,00	0,00
Кол-во ПР на закисление	м³	58 500	58 500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Кол-во ПР на выщелачивание	м³	171 600	0,00	62 400	54 600	54 600	0,00	0,00
кислотность ВР при закислении	г/дм³		10,00					
кислотность ВР при выщелачивании	г/дм³			20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
расход кислоты (технич 92,5%) на закисление	тонн	632,43	632,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
расход кислоты (технич 92,5 %) на выщелачивание	тонн	3 710	0,00	1 349	1 180	1 180	0,00	0,00
расход кислоты на переработку (технич 92,5 %)	тонн	30 506	0,00	18 205	7 681	4 620	0,00	0,00
общий расход кислоты (технич 92,5 %)	тонн	34 849	632,43	19 554	8 861	5 800	0,00	0,00
Степень извлечения	%		0,00	59,01	83,91	98,88	98,88	98,88
Содержание Ме в ПР	мкг/дм³			216,69	104,49	62,85		
Металл в ПР	г	22 658	0,00	13 521,50	5 704,97	3 431,53	0,00	0,00
Выпуск металла в десорбат	кг	21 706,37	0,00	12 953,60	5 465,37	3 287,41	0,00	0,00

Таблица 5 - Математическая модель добычи золота способом ПСВ на блоке 4 при ширине россыпи 100 м, радиус ячейки 33 м, в 3 ряда

Наименование показателей	ед.изм.	План на год	январь		февраль		март		апрель		май		июнь	
			15	16	14	14	15	16	15	15	15	16	15	15
Количество дней			15	16	14	14	15	16	15	15	15	16	15	15
Коэфф извлечения запасов	%		85											
Горно-рудная масса	тонн		115 830											
Запасы	г		103 568											
Закачные	шт		254											
Откачные	шт		93											
Наблюдательные	шт		23											
Ж:Т суммарный		11,71	0,72	1,49	2,17	2,84	3,56	4,34	5,06	5,78	6,50	7,27	8,00	8,72
Ж:Т в месяц			0,72	0,77	0,67	0,67	0,72	0,77	0,72	0,72	0,72	0,77	0,72	0,72
Кол-во ПР на закисление	м³	83700	83 700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
К-во ПР на выщелач.	м³	1272240	0	89 280	78 120	78 120	83 700	89 280	83 700	83 700	83 700	89 280	83 700	83 700
кислотность ВР при закислении	г/дм³	10	10											
кислотность ВР при выщелач.	г/дм³	460		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
расход к-ты (92,5 %) на закисление	тонн	904,86	905	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
расход к-ты (100 %) на выщелач.		25445	0	1 786	1 562	1 562	1 674	1 786	1 674	1 674	1 674	1 786	1 674	1 674
расход к-ты (92,5 %) на выщелач.	тонн	27508	0	1 930	1 689	1 689	1 810	1 930	1 810	1 810	1 810	1 930	1 810	1 810
общий расход кислоты (92,5 %)	тонн	165489	905	18 878	22 461	19 226	16 518	14 077	10 908	9 398	8 335	8 039	6 932	6 471
Степень извлечения	%	99,34	0	12	27	40	51	60	66	72	76	81	84	88
Содержание урана в ПР	мкг/дм³	81,97	0	142	200	168	132	102	82	68	59	51	46	42
Металл в ПР	г	102885	0	12 720	15 591	13 162	11 040	9 116	6 829	5 696	4 898	4 585	3 845	3 499
Выпуск Ме в десорбат	тонн	97535	0	12 059	14 780	12 478	10 466	8 642	6 474	5 399	4 643	4 347	3 645	3 317

шение расстояния между скважинами приводит к сокращению срока отработки и соответственно снижаются постоянные расходы на заработную плату, электроэнергию и т. д.) с учетом их стоимости (затраты на сооружение скважин растут пропорционально числу скважин, что увеличивает затраты на ГПР и капитальные затраты).

Инвестиционный анализ добычи россыпного золота способом ПСВ показывает достаточно конкурентоспособные результаты финансово-экономического моделирования. Хотя по показателю NPV (ставка дисконтирования) при ширине россыпи 20 м ПСВ метод уступает открытому способу (ОС - бульдозерно-скреперная разработка) почти в 2 раза, и составляет 134,8 тыс. \$ США против 70,5 тыс. \$ при ставке 12,5 %, и 129,0 тыс. \$ при ОС против 67,5 тыс. \$ при ПСВ. Однако при увеличении ширины россыпи более 40 м NPV для способа ПСВ в 1,5 и даже в 10 раз больше, нежели открытый способ (ОС). Также необходимо указать на тот факт, что при ширине более 80 м ОС показывает убыточность проекта, а при ПСВ значительный рост прибыльности добычи. Другой показатель IRR (ставка внутренней доходности) не рассчитывался, т.к. сроки отработки россыпи не значительные и составляют всего 1 год. Также необходимо учесть тот факт, что капитальные затраты при ПСВ включают в себя сооружение скважин и затраты на закисление блока. А операционные затраты при ОС включены в затраты на ГПР, вскрышу и т.д. Поэтому для упрощения анализа все затраты были включены как капитальные, что

является ошибкой, которая не влияет на результаты сравнения классического бульдозерно-скреперного и ПСВ способов.

Анализ чувствительности прибыльности способа ПСВ на уменьшение цен на золото более чем на 20 % с одновременным увеличением капитальных и операционных затрат более 10 % приводят к отрицательным показателям, т.е. убыточности проекта, только при ширине россыпи 20 м.

При ширине 40 м и более падение цен на золото и увеличение затрат более чем на 30 %, не влияют на показатель NPV, он всегда положителен и варьируется в пределах от 279 000 до 3 170 000 \$. Такое же изменение цен и затрат при ОС способе всегда влечет убыточность добычи.

**Выводы.** Таким образом, предварительное технико-экономическое обоснование добычи золота бульдозерно-скреперным и ПСВ способами показало, что способ подземного скважинного выщелачивания значительно более выгоден и менее чувствителен к изменениям цен на золото и увеличению затрат при ширине россыпи более 40 м, чем открытый бульдозерно-скреперный способ. Ряд месторождений россыпного золота сочетает в себе россыпи практически на поверхности без обводнения и погребенные с обильным водопритоком. Разработка этих месторождений с применением только одного способа не эффективна и не выгодна, выход из данной ситуации возможен в сочетании открытого способа и ПСВ, что может сильно увеличить привлекательность многих месторождений для инвесторов.

Таблица 6 – Зависимость экономических параметров от ширины россыпи при открытом и ПСВ способах

NPV ставка дисконтирования	№ блока	0		1		2		3		4		5		6		
	Ширина россыпи, м	20		40		60		80		100		120		140		
	радиус ячейки для ПСВ, м	20 (1 ряд)		40 (1 ряд)		30 (2 ряда по 30 м)		40 (2 ряда по 40 м)		33 (3 ряда по 33 м)		40 (3 ряда по 33 м)		35 (4 ряда по 35 м)		
способ	ПСВ	ОС	ПСВ	ОС	ПСВ	ОС	ПСВ	ОС	ПСВ	ОС	ПСВ	ОС	ПСВ	ОС	ПСВ	ОС
NPV @ 12,5 %, тыс.\$	70,5	134,8	646,9	414,2	819,5	217,0	1 426,3	363,1	1 582,1	-124,3	2 159,5	95,8	2 233,6	-3 789,3		
NPV @ 15,0 %, тыс.\$	69,0	131,9	632,8	405,2	801,7	212,3	1 395,3	355,2	1 547,7	-121,6	2 112,6	93,8	2 185,1	-3 706,9		
NPV @ 17,5 %, тыс.\$	67,5	129,0	619,3	396,6	784,6	207,8	1 365,6	347,7	1 514,8	-119,0	2 067,6	91,8	2 138,6	-3 628,0		
Запасы золота, грамм	22 914		54 539		66 664		96 441		103 568		144 530		161 951			
Себестоимость, \$/грамм	27,92	24,68	12,78	22,17	12,01	27,90	10,04	27,46	10,58	33,93	8,17	31,86	8,52	58,03		
Доход от реализации, тыс.\$	859	921	1 868	2 192	2 271	2 679	3 458	3 876	3 861	4 162	4 904	5 808	5 257	6 508		
Общие затраты, тыс.\$	780	769	1 140	1 726	1 349	2 435	1 854	3 467	2 081	4 302	2 475	5 700	2 744	10 771		

Значение сокращений в таблицах и в тексте:

ГПР – горноподготовительные работы;

ПР – продуктивный раствор;

ВР – выщелачивающий раствор



ЛИТЕРАТУРА

1 Костромитинов К.Н., Лысков В.М. Оценка эффективности отработки месторождений драгоценных металлов. – Иркутск: БГУЭП, 2015. – 530 с.

2 Catchpole Glenn, Kirchner Gerhard. Restoration of Groundwater Contaminated by Alkaline In-Situ Leach of Uranium Mining. // Uranium Mining and Hydrogeology: proceedings of Geo Congress 1 – Köln, Germany, 1995. – P. 81-89.

3 Szymanski W.N. Energy Information Administration. // Uranium Industry Annual. – 1993. – N 14. – P. 238-246.

4 Пат. 2516423 РФ Способ подземного выщелачивания окисленных никель-кобальтовых руд / Гребнев Г.С., Савеня М.Н., Суклета С.А., Савеня Н.В.; опубл. 20.05.2014. Бюл. № 5.

5 Engelmann W.H., Phillips P.E., Tweeton D.R., Loest K.W., Nigbor M.T. Restoration of Groundwater Quality Following Pilot-Scale Acidic In-Situ Uranium Leaching at Nine- Mile Lake Site Near Casper Wyoming // Society of Petroleum Engineers Journal. – 1982. – № 22. June. – P. 382-398.

6 Беспаяев Х.А., Аубекеров Б.Ж., Абишев В.М., Жаутиков Т.М. Степаненко Н.И., Гуськова А.И., Жакупова Ш.А. Россыпи золота Казахстана. Справочник. – Алматы, 1999. – 228 с. [Электронный ресурс] – URL: <http://docplayer.ru/43570122-Rossypi-zolota-kazahstana-spravochnik.html> (дата обращения: 17.08.2017).

7 Ваулин О.В. Алматинская область. Золото. Справочник. – Алматы-Бишкек: Рокизол, 2016. – 124 с.

8 Фазлуллин М.И., Авдонин Г.И., Савченко Г.А. Перспективы скважинного подземного выщелачивания золота в глубоко погребенных россыпях России, Кыргызстана и Казахстана // Горно-информационный аналитический бюллетень. – 2012. – № 7. [Электронный ресурс] – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-skvazhinogo-podzemnogo-vyshchelachivaniya-zolota-v-gluboko-pogrebennyh-rossypanyah-rossii-kyrgyzstana-i-kazahstana> (дата обращения: 05.07.2017)

9 Петросов А., Фефелов А. Экономика и организация разработки россыпных месторождений золота артелями. – М.: МГГУ, 2004. – 324 с.

10 Лешков В.Г. Разработка россыпных месторождений. – М.: Недра, 1985. – 568 с.

11 Кавчик Б.К., Пятаков В.Г. О повышении эффективности россыпной золотодобычи. Повышение прибыли за счет совершенствования горных работ // Минеральные ресурсы России. – 2013. – № 3. – С.34-42.

12 Неретин А.В. Пример экономичной отработки россыпи // Золотодобыча. – 2005. – № 75, Февраль. [Электронный ресурс] – URL: <https://zolotodb.ru/articles/mining/open-cut/213>. (дата обращения: 25.09.2017)

REFERENCES

1 Kostromitinov K.N., Lyskov V.M. *Otsenka effektivnosti otrabotki mestorozhdeniy dragotsennykh metallov* (Assessment of ef-

iciency of working off of fields of precious metals). Irkutsk: BGUEP, 2015. 530. (in Russ)

2 Catchpole Glenn, Kirchner Gerhard. Restoration of Groundwater Contaminated by Alkaline In-Situ Leach of Uranium Mining. *Uranium Mining and Hydrogeology: proceedings of GeoCongress 1*. Köln, Germany, 1995. 81-89. (in Eng.)

3 Szymanski W.N. Energy Information Administration. *Uranium Industry Annual*. 1993. 14. 238-246. (in Eng.)

4 Пат. 2516423 RU. *Sposob podzemnogo vyshchelachivaniya oksislennykh nikel-kobaltovykh rud* (Way of underground leaching oxidized nickel - cobalt ores). / Grebnev G.S., Savenya M.N., Sukleta S.A., Savenya N.V.; Publ. 20.05.2014. 5. (in Russ)

5 Engelmann W.H., Phillips P.E., Tweeton D.R., Loest K.W., Nigbor M.T. Restoration of Groundwater Quality Following Pilot-Scale Acidic In-Situ Uranium Leaching at Nine- Mile Lake Site Near Casper Wyoming. *Society of Petroleum Engineers Journal*. 1982. 22. June. 382-398. (in Eng.)

6 Bespayev X.A., Aubekeroev B.Zh., Abishev V.M., Zhautikov T. M, Stepanenko N.I., Guskova A.I., Zhakupova Sh.A. *Rossypi zolota Kazakhstana. Spravochnik*. (Alluvial gold of Kazakhstan. Reference book). Almaty, 1999, 228. [Electron resource] URL: <http://docplayer.ru/43570122-Rossypi-zolota-kazahstana-spravochnik.html> (date of access: 17.08.2017). (in Russ)

7 Vaulin O.V. *Almatinskaya oblast. Zoloto. Spravochnik*. (Almaty region. Gold. Reference book.) Almaty-Bishkek. Rokizol, 2016. 124. (in Russ)

8 Fazlullin M.I., Avdonin G.I., Savchenko G.A. *Perspektivy skvazhinogo podzemnogo vyshchelachivaniya zolota v gluboko pogrebennykh rossypanykh Rossii. Kyrgyzstana i Kazakhstana* (The prospects of borehole underground leaching of gold in deeply buried alluvial deposit of Russia, Kyrgyzstan and Kazakhstan) *Gorno-Informatsionnyj Analit. Bull.* (Mining-Information Analytical Bull). 2012. 7. [Electron resource] URL: <http://www.geokniga.org/book-files/geokniga-rossypi-zolota-kazahstana-spravochnik.pdf>. (date of access: 05.07.2017). (in Russ)

9 Petrosov A., Fefelov A. *Ehkonomika i organizatsiya razrabotki rossypanykh mestorozhdeniy zolota artelyami* (Economy and organization of development of loose gold deposits by artels). Moscow: MGGU, 2004. 324. (in Russ)

10 Leshkov V.G. *Razrabotka rossypanykh mestorozhdeniy* (Development of alluvial deposit). Moscow: Subsoil, 1985. 568. (in Russ)

11 Kavchik B.K., Pyatakov V.G. *O povyshenii effektivnosti rossypanykh zolotodobychi. Povysheniye pribyli za schet sovershenstvovaniya gornykh rabot* (About increase in efficiency of alluvial gold mining. Increase in profit due to improvement of mining operations) *Mineralnyye resursy Rossii = Mineral resources of Russia*. 2013. 3. 34-42. (in Russ)

12 Neretin A.V. *Primer ehkonomichnoy otrabotki rossypi* (Example of economic working off of alluvial deposits). *Zolotodobycha = Gold mining*. 2005. February. 75. [Electron resource] – URL: <https://zolotodb.ru/articles/mining/open-cut/213>. (date of access: 25.09.2017) (in Russ)

ТҮЙІНДЕМЕ

Жер асты ұңғыманы шаймалау (ЖАҰШ) әдісі - уран өндірудің экономикалық тиімді және экологиялық қауіпсіз әдістерінің бірі. Қазіргі уақытта басқа металдар өндірісінде осы әдісті қолданудың ғылыми - зерттеу жұмыстары жүргізіліп, ұңғыманы шаймалаудағы геотехнологияның техникалық және экономикалық аспектілері бағалануда. Уранды жер асты ұңғымадан шаймалаудың теориялық деректері мен тәжірибеге негізделе отырып, (ашық) бульдозер - қырғыштық және ЖАҰШ әдістерімен алтынды алудың экономикалық тиімділігін салыстырмалы сараптама арқылы талдау жұмысы жүргізілді. Талдау алтынның әртүрлі тиімділігін шаймалаудың математикалық модельдеу деректеріне арналған. Өндірістік шығынның шашырау еніне тәуелділігі анықталды. Класикалық ашық әдісте алтынды алу құны өседі және жұмыстың тиімділігі төмендейді, ал жер асты ұңғымадан шаймалауда құны төмендейді. Бульдозер - қырғыштық әдіспен алудың экономикалық тиімділігі жоғары шегі ені 80 метр болып табылады, үлкен енді алуда экономикалық тиімсіз болып табылады. Қарсы көрініс алтынды ЖАҰШ әдісін қолдануда шашырау ені ұлғаюмен эко-

номикалық тиімділігінің өсуі бақылануда, ең төменгі шегі 40 метр болып анықталды. Сонымен қатар, ашық әдістің осындай кері әсері ЖАҰШ әдісі үшін оң болды. Осылайша ЖАҰШ әдісі ашық әдіске балама және экономикалық және технологиялық тиімсіз деп саналған асыл металдарды өңдеуге тартады.

**Түйінді сөздер:** жер асты ұңғыманы шаймалау, ашық әдіс, экономикалық тиімділік, шашыранды, геотехнология, математикалық модельдеу

### ABSTRACT

The method of underground borehole leaching (UBL) is one of the economically beneficial and environmentally safe methods for uranium mining. Currently, researches on the application of this method to the extraction of other metals are carried out, technical and economic aspects of the geotechnology of borehole leaching are estimated. Based on the theoretical data and experience of uranium underground leaching, a comparative analysis of the economic efficiency of gold mining by bulldozer-scraper (open) method and underground borehole leaching is presented in this paper. The analysis is based on mathematical modeling of gold leaching for different widths of placers and the radius of technological cells. Dependence of production cost on placer width is established. In the case of a classical open method of extraction, the prime cost of production increases with the increase in the width of the placer due to the increase in idle runs of machinery and a decrease in the efficiency of operation. And in the case of underground borehole leaching, the prime cost is reduced at the placer width increase. It is established that the upper limit of the width of the placer is 80 meters for economically efficient extraction by a bulldozer-scraping method, while for a wider width it is not economically profitable. The opposite picture is observed when the method of underground gold leaching is applied, with increasing width of the placer (up to 100 meters and more) economic efficiency is increasing, and the minimum threshold is determined to be 40 meters. It was also found that such negative for the open method placer parameters as water cut and burial for the UBL method are positive. Thus, the UBL method is an alternative to the open one and allows to involve alluvial precious metals in the mining, which previously were considered economically and technologically inefficient.

**Key words:** underground borehole leaching, open method, economic efficiency, placer, gold, geotechnology, alluvial deposit, mathematical modeling

*Поступила 31.10.2017.*