

6. Строкова Л.А., Ермолаева А.В. Природные особенности строительства участка газопровода «Сила Сибири» на участке Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение // Изв. Томского политехнического университета. — 2015. — № 4. — Т. 326. — С. 41–55.

7. Толмачев В.В., Ройтер Ф. Инженерное карстоведение. — М.: Недра, 1990. — 151 с.

8. Хоменко В.П. Нормативная оценка карстовой опасности: кризисная ситуация / Геотехнические проблемы проектирования зданий и сооружений на карстоопасных территориях: Матер. Российской конф. с междунар. участием. — Уфа: БашНИИстрой, 2012. — С. 240–245.

9. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология. — М.: Недра, 1996. — 423 с.

10. Piper, A.M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses // Eos Trans. AGU, 1944. — Vol. 25(6). — P. 914–928. — doi:10.1029/TR025i006p00914.

11. Waltham T., Bell F., Culshaw M. Sinkholes and Subsidence. Karst and Cavernous Rocks in Engineering and Construction. Berlin: Springer, 2005. — 404 p.

© Ермолаева А.В., Строкова Л.А., 2016

Ермолаева Алена Викторовна // alyona7@inbox.ru

Строкова Людмила Александровна // strokova@sibmail.com

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 549.08:553.087

Левченко Е.Н. (ФГУП «ИМГРЭ»), Ожогина Е.Г. (ФГБУ «ВИМС»)

МИНЕРАЛОГИЯ БАДДЕЛЕИТ-ЦИРКОНИЕВЫХ РУД АЛГАМИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Приведены новые данные по минералогии бадделеит-циркониевых руд Алгаминского месторождения. Выявлены особенности циркона и бадделеита — главных рудных минералов. Показаны возможности технологической переработки руд. **Ключевые слова:** бадделеит, циркон, минеральный состав, руда.*

Levchenko E.N. (IMGRE), Ozhogina E.G. (VIMS)

MINERALOGY OF BADDELEIT-TSIRKON OF ALGAMINSKY ORES OF THE FIELD

*New data on the mineralogy of baddeleyite-tsircon ores of Algaminskogo ore deposit. Features of tsircon and baddeleyite are revealed — the main ore minerals are shown, that result in definite prospect of these ores technological processing. **Key words:** baddeleyite, tsircon, mineral composition, ore.*

Алгаминское месторождение относится к одному из трех известных в мире циркониевых объектов, в рудах которых одновременно присутствуют основные циркониевые минералы — бадделеит и циркон, находящиеся в ассоциации друг с другом [2]. Оно расположено в восточной части Сибирской платформы в зоне ее сочленения с Юдомо-Майским перикратонным прогибом северо-восточнее от Ингилийского массива и локализовано в породах юдомской свиты венд-кембрийского возраста, сформированной преимущественно мраморизованными и органогенными доломитами и песчаниками. Рудные тела приурочены к прокарстованным кавернозным доломитам. Выделяются два типа руд: практически массивные коренные руды, формирующие секущие прожилки и штокверковые зоны в горизонтально залегающих секреционных доломитовых мраморах, так называемые «твердые» руды и землистые, порошокватые отложения в карстовых горизонтах мраморов, которые относят к категории «рыхлых» руд [3].

Руды Алгаминского месторождения изучены с различной степенью детальности. Для твердых руд имеется более полная информация о составе, строении, в т.ч. характере взаимоотношений рудных минералов, их реальных составах. Глубокого минералогического изучения рыхлых руд, позволяющего получить о них всестороннюю информацию, практически не проводилось.

Объектом исследования являлись малые технологические пробы (МТП), сформированные терригенно-карбонатными и карбонатными породами, природно дезинтегрированными. Поэтому пробы сформированы преимущественно материалом крупностью менее 2,5 мм (80 %). На долю крупного материала (более 2,5 мм) приходится порядка 20 %.

Текстура пород весьма разнообразна: от порошокватой и землистой до брекчиевидной, массивной, прожилковой, пористой, кавернозной. Структура преимущественно гранобластовая — от крупно- до тонкозернистой, иногда у песчаников отмечаются реликты обломочных структур. В отдельных пробах отмечаются грубообломочные породы различной степени литификации (щебень, дресва, дресвяники, брекчии и пр.). Цемент обломочных пород базальный, контактово-базальный, реже контактово-поровый, сформированный тесно ассоциирующими гидроксидами железа и слоистыми алюмосиликатами. В породах развито вторичное минералообразование в виде гнезд тонко-мелкокристаллического карбоната, агрегатов мелкозернистого кварца.

Результаты ситового анализа показали, что в руде всех проб диоксид циркония концентрируется в материале крупностью менее 2,5 мм (табл. 1). Следовательно, практический интерес представляет именно этот материал. При этом прослеживается четкая тенденция к накоплению полезного компонента в материале крупностью менее 0,05 мм, по существу представляющим собой предварительно обогащенный продукт исходной руды (шламовый концентрат), выход которого составляет 4,03–17,1 % при распределении ZrO_2 от 12,17 до 43,62 %.

Особенности распределения диоксида циркония, представленного собственными минеральными фазами, присутствующими в основном в тонкодисперсном материале руды, определили комплекс минералогиче-

ских методов изучения (высокоразрешающая оптическая и аналитическая электронная микроскопия, рентгенографический и микрорентгеноспектральный анализы), позволивший выявить особенности рудных агрегатов, определить их состав, установить гранулярный состав и морфометрические характеристики циркона и бадделеита. Шламовый материал, по-видимому, представляет собой алевро-пелитовую составляющую терригенных песчано-глинистых пород, в различной степени карбонатизированных и железненных. По существу это бадделеит-циркониевые (пробы МТП-3, МТП-5, МТП-6) и циркон-бадделеитовые (МТП-1, МТП-2, МТП-4) продукты с переменным содержанием рудных минералов (табл. 1).

Соотношения между цирконом и бадделеитом не постоянны и меняются. Проба МТП-1 — продукт, содержащий циркон. Породообразующие минералы представлены кварцем, доломитом, содержание которых позволяет отнести их к категории главных и второстепенных минералов. В отдельных пробах отмечается значительное количество глинистых минералов, представленных каолинитом и иллитом, присутствующим

в переменных количествах. Причем в пробах МТП-1, МТП-2 отсутствует иллит, а в пробах МТП-3, МТП-4 не обнаружен каолинит. Наиболее высокое содержание иллита (до 50 %) отмечается в пробе МТП-3. Апатит, кальцит и гетит являются второстепенными минералами, содержание каждого из них обычно не превышает 5 %. Породообразующие минералы, за исключением слоистых силикатов, присутствуют преимущественно в виде обломков и индивидуализированных зерен различного размера, в том числе и микронанометрического. Глинистые минералы, как правило, тесно ассоциируют с гетитом, образуют тонкодисперсные полиминеральные агрегаты.

Полезные рудные минералы представлены бадделеитом и цирконом, присутствующими в виде индивидуализированных зерен, колломорфных выделений и полиминеральных агрегатов. Существует мнение, что главным рудным минералом алгагинских руд является тонкодисперсный гель-циркон. Однако в процессе изучения руд, в том числе прецизионными методами минералогического анализа, этот минерал не был обнаружен.

Таблица 1
Распределение диоксида циркония по классам крупности руды исходных проб

Проба №	Класс крупности, мм	Выход, %	Содержание ZrO_2 , %	Распределение ZrO_2 , %
МТП-1	+2,5	32,70	2,17	20,28
	–2,5+0,05	61,34	3,55	41,82
	–0,05	5,96	22,29	37,9
	Исходная проба	100	3,50	100,00
МТП-2	+2,5	25,27	50,29	28,33
	–2,5+0,05	66,69	53,55	59,49
	–0,05	8,04	67,92	12,17
	Исходная проба	100	44,86	100,00
МТП-3	+2,5	33,30	12,25	35,12
	–2,5+0,05	49,67	13,37	38,13
	–0,05	17,03	18,24	26,75
	Исходная проба	100	11,62	100,00
МТП-4	+2,5	75,42	6,43	49,34
	–2,5+0,05	20,18	60,9	30,73
	–0,05	4,4	44,52	19,93
	Исходная проба	100	9,83	100,00
МТП-5	+2,5	33,73	6,11	31,60
	–2,5+0,05	56,31	5,59	31,96
	–0,05	9,96	23,85	36,44
	Исходная проба	100	6,52	100,00
МТП-6	+2,5	37,34	6,01	28,11
	–2,5+0,05	49,02	7,35	28,27
	–0,05	13,64	25,52	43,62
	Исходная проба	100	7,98	100,00
МТП-7	+2,5	48,20	6,30	43,70
	–2,5+0,05	43,49	10,26	33,24
	–0,05	8,31	19,27	23,06
	Исходная проба	100,00	6,95	100,00

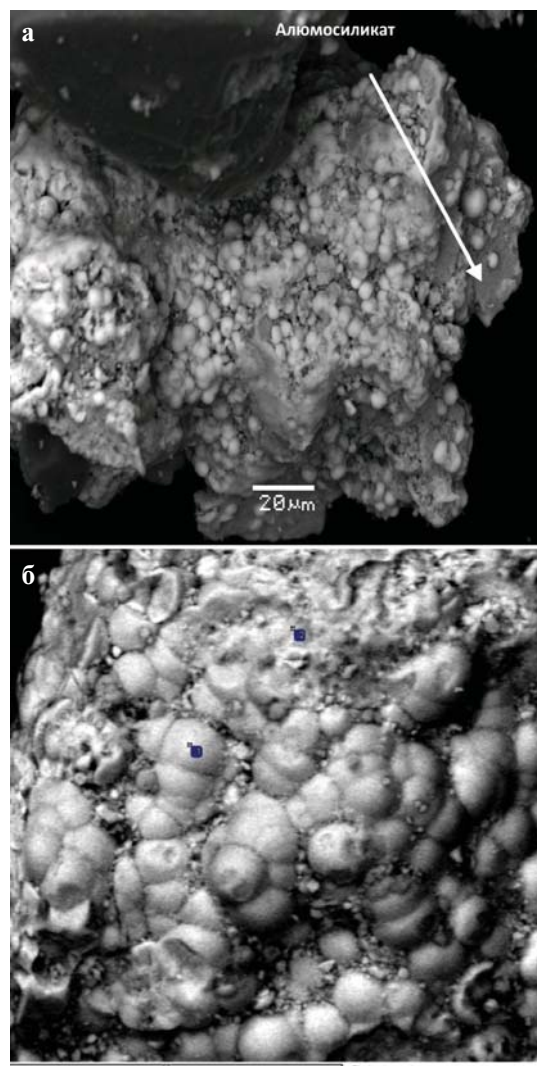


Рис. 1. а,б — колломорфные агрегаты бадделеита. Проба МТП-1. Изображение в отраженных электронах

Бадделеит присутствует в руде в виде полиминеральных агрегатов, в которых он тесно ассоциирует с породообразующими минералами (рис. 4а) и иногда с цирконом, а также образует колломорфные выделения. Индивидуализированные зерна бадделеита, как правило, имеют таблитчатую, пластинчатую форму, нередко встречаются фрагменты кристаллов. Размер зерен значительно меньше 1 мкм, преобладают зерна размером 16–20 нм. Нередко фиксируется неоднородное строение зерен минерала. Колломорфные выделения бадделеита отличаются весьма разнообразной формой: грозде-почковидной, секториальной, сферолитовой, хлопьевидной (рис. 1а, б, 2а). Размер таких выделений обычно варьирует от долей микрометра до 8 мкм. Отмечаются удлиненные веретеновидные выделения, представленные «икристыми» агрегатами, сформированными округлыми, слабо удлиненными, таблитчатыми зернами бадделеита. На микродифракционных картинах, полученных с этих агрегатов (рис. 2б), фиксируются точечные и точно-кольцевые отражения минерала, свидетельствующие о его хорошей раскристаллизации.

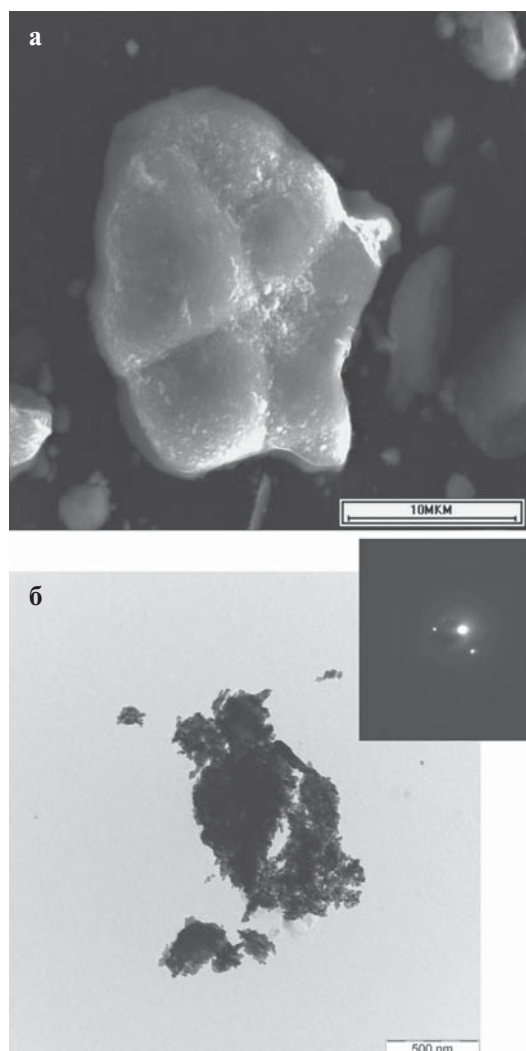


Рис. 2. а — колломорфный агрегат бадделеита. Проба МТП-2. РЭМ; б — удлиненный агрегат бадделеита «икристого» микростроения; микродифракционная картина минерала. Проба МТП-2. ПЭМ

Циркон присутствует в руде в виде индивидуализированных зерен и колломорфных образований, которые в значительном количестве содержат механическую примесь породообразующих минералов в первую очередь слоистых алюмосиликатов. Существующее мнение о широком развитии в этих рудах гель-циркона, видимо, связано с наличием округлых оолитоподобных выделений, аналогичных приведенным на рис. 3а. Однако методами аналитической электронной микроскопии установлено, что такие выделения в действительности сформированы индивидуализированными зернами короткостолбчатой, призматической, панидиоморфной, неправильной изометричной формы нередко со сглаженными очертаниями.

В основном зерна циркона имеют размер от 0,1 до 7 мкм. Но отмечаются и более мелкие зерна размером первые нанометры. Колломорфные агрегаты циркона имеют в основном почковидную и хлопьевидную форму, размер их может достигать 80 мкм (рис. 3б). Как правило, в таких агрегатах прослеживаются элементы перекристаллизации материала с образованием очень

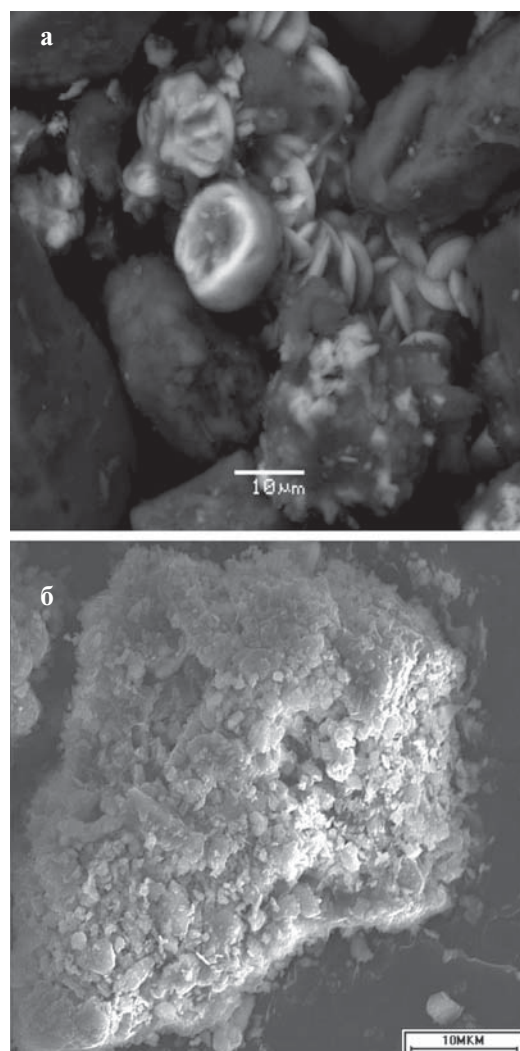


Рис. 3. а — циркон оолитоподного, скорлуповатого микростроения. Изображение в отраженных электронах; б — тонкодисперсный агрегат циркона. Проба МТП-6. РЭМ

слабо индивидуализированных зерен. Тонкодисперсные образования циркона нередко отмечаются на поверхности кварца, карбонатов, глинистых агрегатов. В этом случае наблюдаются относительно крупные — до 15 мкм выделения минерала (рис. 4б). Встречаются также сростки гидроксидов железа с цирконом, в которых размер зерен последнего не превышает 5 мкм.

Полученные результаты позволяют говорить, что полезные циркониевые минералы (бадделейт и циркон) распределены в руде неравномерно, приурочены практически всегда к тонкодисперсной составляющей руды, тесно ассоциируют с породообразующими минералами, иногда между собой. В случаях совместного нахождения циркона и бадделейта в прожилках гетита устанавливается замещение отдельных зерен циркона бадделейтом.

По результатам рентгеноспектрального микроанализа (табл. 2) содержание ZrO_2 в цирконе варьирует от 41,22 до 65,03 %, в бадделейте — от 74,94 до 93,17 %. В цирконе отмечено повышенное содержание иттрия (до 0,44 %) и урана (до 0,52 %). Самостоятельных мине-

ральных фаз урана в настоящий момент не установлено. По данным Ю.А. Багдасарова [1] в руде присутствует силикат урана — коффинит, выявленный и идентифицированный электронно-микроскопическими исследованиями в ФГУП «ИМГРЭ», присутствующий в виде выделений размером до 2 мкм в ассоциации с цирконом и бадделейтом.

Важной отличительной особенностью циркониевых минералов Алгаминского месторождения, не свойственной рудам других известных месторождений циркония, является присутствие в бадделейте в существенных количествах оксида вольфрама (0,9–2,63 %) и кремнезема (1,32–14,18 %). Вольфрам, видимо, изоморфно входит в структуру бадделейта [4], кремний связан с тонкими механическими включениями в рудном минерале. Между содержаниями циркония и вольфрама в минералах прослеживается устойчивая, хорошо выраженная прямая зависимость: коэффициент корреляции (r) — 0,8–0,9 и даже выше (до 0,95).

Циркон и бадделейт, вероятно, содержат структурно связанную воду. Это позволяет считать, что в рудах присутствуют гидратированные разновидности этих минералов.

Сегодня можно совершенно определенно говорить, что минералогические особенности шламовых классов руды определяют качество предварительно обогащенного продукта исходной руды, технологические характеристики которого влияют на экономические показатели работ по дальнейшей технологической переработке руд.

Перспективы переработки этих руд, вероятно, следует связывать с гидрометаллургическим переделом и получением в качестве товарной продукции диоксида циркония. Однако циркон-бадделейтовые концентраты обогащения Алгаминского месторождения характеризуются повышенной активностью и относятся к

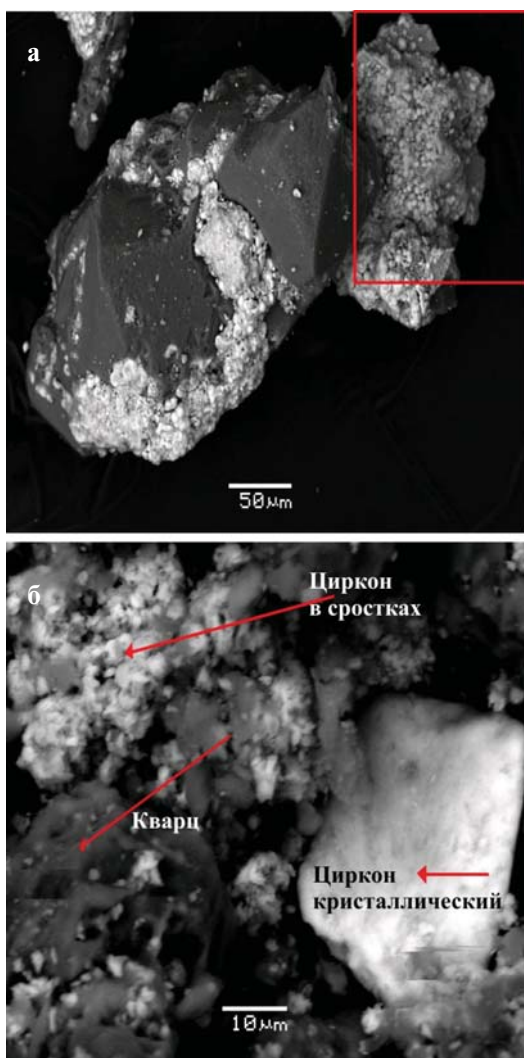


Рис. 4. а — сросток кварца с бадделейтом (светлое); б — панидиоморфный кристалл циркона в полиминеральном агрегате. Проба МПТ-6. Изображение в отраженных электронах

Таблица 2
Химический состав циркона и бадделейта (по данным рентгеноспектрального микроанализа)

Компо- нент	Минерал					
	Циркон			Бадделеит		
	Содержание, %					
	Макси- мальное	Мини- мальное	Сред- нее	Макси- мальное	Мини- мальное	Сред- нее
ZrO ₂	65,03	41,22	55,77	93,17	74,94	83,99
HfO ₂	1,51	0,55	0,99	1,65	1,23	1,40
SiO ₂	49,11	20,65	27,48	14,18	1,32	5,22
Al ₂ O ₃	2,03	0,01	1,47	0,54	0,22	0,35
Y ₂ O ₃	0,44	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00
P ₂ O ₅	3,85	0,00	2,68	1,31	0,00	1,01
Nb ₂ O ₅	0,21	0,00	0,05	1,63	0,00	0,58
ThO ₂	0,12	0,00	0,03	0,13	0,00	0,06
UO ₂	0,52	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00
CaO	9,06	2,27	4,43	0,87	0,50	0,71
MnO	0,15	0,00	0,03	0,10	0,02	0,05
Fe ₂ O ₃	10,03	0,05	1,71	0,54	0,00	0,21
WO ₃	0,35	0,00	0,12	2,63	0,90	1,81
сумма	99,17	84,19	95,07	100,83	83,58	95,38

IV классу минерального сырья (Аэфф. > 4000Бк/кг). Следовательно, без предварительной дезактивации исследуемых концентратов их дальнейшая гидрометаллургическая переработка с получением цирконового концентрата не целесообразна, т.к. при их переработке будет происходить концентрирование радионуклидов в продуктах переработки.

Не менее значимой проблемой является утилизация радиоактивных отходов переработки руд, поэтому принципиальное значение имеет оценка распределения радионуклидов в продуктах гидрометаллургического передела концентратов Алгагинского месторождения.

Авторы признательны своим коллегам — доктору геолого-минералогических наук Дубинчуку В.Т., кандидатам геолого-минералогических наук Куликовой И.М., Григорьевой А.В., Ружицкому В.В., кандидату технических наук Лихниеву Е.Г., а также Набелкину О.А. и Шуваловой Ю.Н. за экспериментальные исследования руд и обсуждение полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багдасаров Ю.А. Ингилейско-Алгагинский узел Восточного Алдана // Отечественная геология. — 1994. — № 1. — С. 18–28.
2. Быховский Л.З., Тигунов Л.П., Левченко Е.Н. и др. Цирконий и гафний России: современное состояние, освоение и развитие минерально-сырьевой базы // Минеральное сырье. Серия геолого-экономическая. — М.: ВИМС. — 2007. — № 23. — 127 с.
3. Коленкова М.А., Шуменко В.И., Дорохина М.Н., Сафуанова Н.А. Новое отечественное циркониевое сырье и способы его переработки / ЦНИИцветмет экономики и информации. — М., 1980. — Вып. 2. — 48 с.
4. Некрасов И.Я., Ананьев В.В. Вольфрамсодержащий бадделлит — новая разновидность оксида циркония // ДАН. — 1990. — Т. 313. — № 4. — С. 947–950.

© Левченко Е.Н., Ожогина Е.Г., 2016

Левченко Елена Николаевна // levchenko@imgre.ru
Ожогина Елена Германовна // vims-ozhogina@mail.ru

УДК 550.622:658.382.3

**Косьянов В.А., Черезов Г.В., Головин С.В.
(МГРИ–РГГРУ)**

ОПТИМИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Проведен анализ рассматриваемой группы производственных энергопотребителей — буровых установок разведочного бурения, возможные варианты энергоснабжения, характерные для типовых условий производства работ, рассмотрены как типовые варианты комплексного энергоснабжения геологоразведочных технологических объектов. Установлена прогрессивная зависимость увеличения предельного расстояния подключения буровых установок разведочного бурения к энергоисточникам по варианту энергообеспечения от ПДЭС с теплоутилизационными установками, а также выявлена экономическая эффективность утилизации теплоты дизель-агрегатов энергетических комплексов в интересах теплообеспечения буровых установок при бурении геологоразведочных скважин. **Ключевые слова:** разведочное бурение, буровая установка разведочного бурения, комплексное энергооб-*

спечение, автономное энергоснабжение, энергосбережение, утилизация теплоты, теплоутилизационная установка, технико-экономическое моделирование, критерии оптимизации.

Kosyanov V.A., Cherezov G.V., Golovin S.V. (MGRI — RGGRU)
OPTIMIZATION OF COMPLEX POWER SUPPLY OF GEOLOGICAL AND PROSPECTING WORKS ON THE BASIS OF TECHNICAL AND ECONOMIC MODELLING

*The analysis of the considered group of production power consumers — drilling rigs of prospecting drilling is carried out, possible options of power supply, characteristic for standard conditions of production of works, are considered as standard options of complex power supply of prospecting technological objects. Progressive dependence of increase in limit distance of connection of drilling rigs of prospecting drilling to power sources by power supply option from mobile diesel power station with warmth utilizer is established. Economic efficiency of utilization of warmth the diesel units of power complexes in interests of heat supply of drilling rigs of prospecting drilling when drilling prospecting wells is also revealed. **Key words:** exploration drilling, boring machine of prospecting drilling, complex power supply, self-dependent power supply, energy saving, warmth conversion, heat recovery unit, technical and economic modeling, criterion of optimization.*

В сложившихся хозяйственно-экономических условиях, когда к перспективам освоения труднодоступных регионов страны приковано повышенное внимание не только специалистов в области геологоразведки, но и экономистов, принимающих активное участие в формировании концепции освоения, технико-экономические аспекты определяют новый подход к вопросам обеспечения геологоразведочных работ необходимыми энергетическими мощностями, учитывающими преимущества применения энергосберегающих технологий при обосновании оптимальной модели энергообеспечения для каждого конкретного случая [9].

Общими особенностями энергообеспечения геологоразведочных работ являются:

удаленность объектов от централизованной энергосети (ЦЭС);

разнообразие как геологических, так и технико-экономических условий проведения работ;

неравномерность плотности территориального распределения потребителей на разведываемых площадях;

сложные транспортные и экстремальные климатические условия: отрицательные среднегодовые температуры, ветровая обстановка, влажность, осадки, значительные теплопотери и т.п.;

скачкообразные изменения объема энергопотребления, зависящие от стадии и сезона производства работ.

Все вышеперечисленные особенности предполагают: использование большого разнообразия возможных вариантов энергообеспечения, значительно различающихся по затратной части;

производство тепловой энергии и электроэнергии на местах;

комплексное решение вопросов электро- и теплообеспечения;