

УДК 622.516:622.271(001)

**Е.Л. Алькова, С.В. Панишев, С.А. Ермаков**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА  
РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ВОДООТЛИВА  
В УСЛОВИЯХ КИМБЕРЛИТОВЫХ КАРЬЕРОВ**

*Предложен методический подход к выбору рациональной схемы водоотлива в условиях глубоких кимберлитовых карьеров АК «Алроса». Рассмотрены три схемы карьерного водоотлива. Предложены критерии, позволяющие выбрать рациональную схему водоотлива, обеспечивающую ресурсосбережение и повышение эффективности горных работ.*

*Ключевые слова: методический подход, схема, водоотлив, кимберлитовый карьер.*

**Семинар № 17**

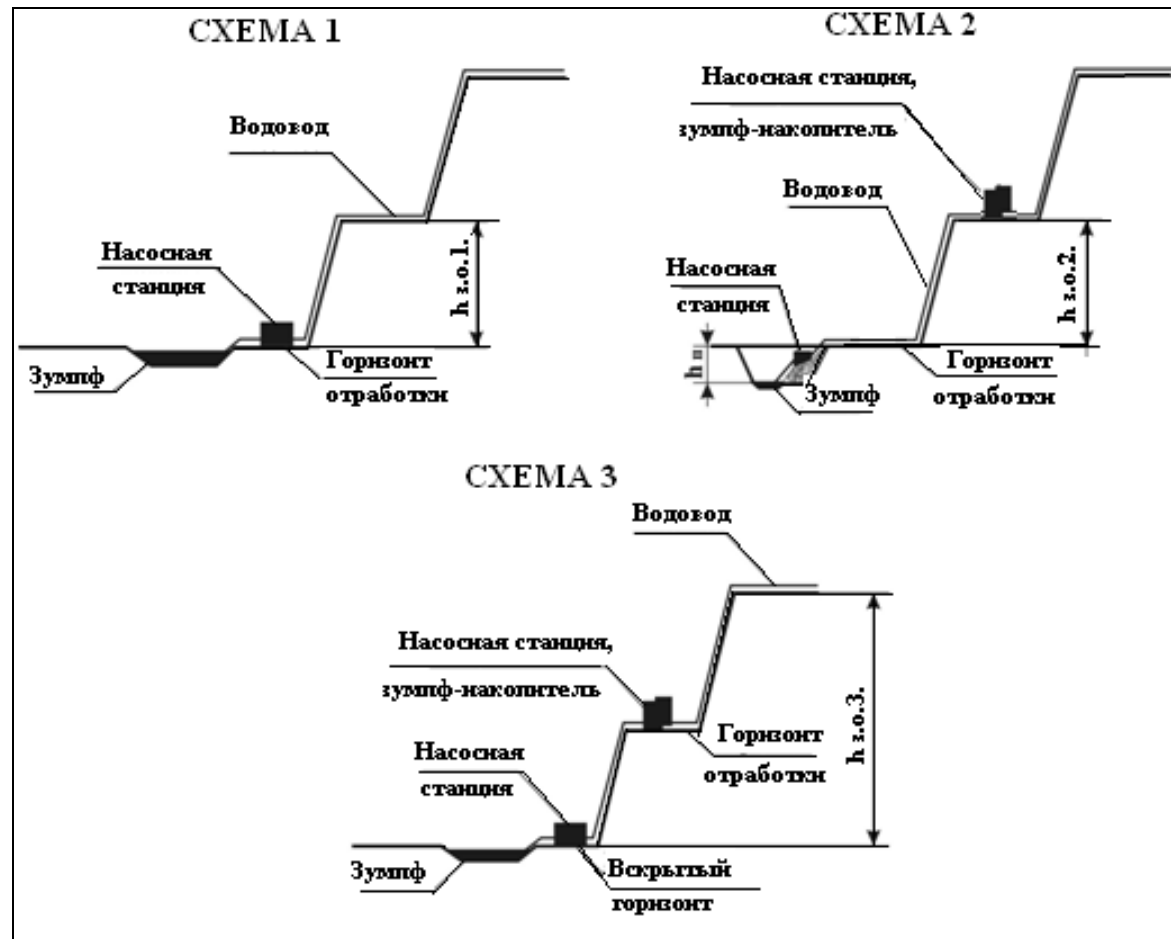
**О**бязательным элементом подготовки карьерного поля к эксплуатации является осушение. Различают предварительное, параллельное и комбинированное осушение месторождений [1]. Предварительное осушение проводится до начала ведения горных работ. Параллельное осушение производится одновременно с проведением вскрышных и добычных работ, опережая их в пространстве вплоть до окончания отработки карьера. Комбинированное осушение сочетает предварительное и параллельное осушение и осуществляется до и во время разработки месторождения.

Эффективность того или иного способа осушения и схемы водоотлива карьеров, в период их строительства и эксплуатации, устанавливается соответствующими гидрогеологическими расчетами по критерию соответствия производительности насосов и максимального расчетного суточного притока дождевых и подземных вод. При этом, не учитываются такие факторы, как простой водоотлива на период монтажа-демонтажа комплекса водоотливных сооружений, коли-

чество стоянок, снижение производительности карьера, связанное с переносом водоотливных сооружений, снижение производительности экскаватора из-за занятости карьерного пространства под водоотливными установками. Исследованиями, выполненными в ИГДС СО РАН, на примере карьера «Удачный», установлены закономерности изменения этих показателей с глубиной разработки и конструкцией схемы, что явилось основой для обоснования нового методического подхода к выбору рациональной схемы водоотлива [2,3]. При этом, предполагается, что рассматриваемые схемы равны по производительности насосов максимальным расчетным притокам вод в карьерное пространство.

На кимберлитовых карьерах Якутии применяется открытый водоотлив, как наиболее простой и экономичный способ осушения. В качестве примера рассмотрим три схемы водоотлива, которые нашли применение на обводненных карьерах (рис. 1):

1 – с установкой водоотливных сооружений на горизонте отработки в самом низком месте забоя;



**Рис. 1. Схемы водоотлива:** 1 - с расположением зумпфа на горизонте отработки; 2 - с подготовкой зумпфа путем перебура рабочего горизонта; 3 - с расположением зумпфа на нижележащем горизонте отработки, подготовленном опережающим вскрытием, где  $h_{з.о.1.}$ ,  $h_{з.о.2.}$ ,  $h_{з.о.3.}$  - зоны обслуживания одной стоянки водоотлива

2 - с подготовкой зумпфа путем перебура рабочего горизонта на несколько метров в глубину;

3 - с устройством зумпфа на горизонте, подготовленном опережающим вскрытием.

При первой схеме водосборник располагается на самой низкой отметке дна карьера. Если глубина карьера превышает максимальный напор, создаваемый одним насосом, то применяют последовательное соединение насосов, установленных рядом на одном горизонте (одна насосная станция), или ступенчатую схему водоотлива. Насосная станция второго подъема не имеет водосборника. Такая схема водоотлива обладает рядом недостатков: большие размеры зумпфа в плане, что приводит к увеличению занятости карьерного пространства; частые переносы комплекса водоотливных установок по мере продвижения забоя; нижние насосы и арматура должны быть усилены, так как могут быть случаи, когда они находятся под давлением столба воды полной высоты.

При второй и третьей схемах все водоотливные установки также имеют водосборники, и нижняя водоотливная установка, которая в этом случае считается вспомогательной, перекачивает воду в водосборник верхней водоотливной установки. Такая схема ступенчатого водоотлива наиболее удобна, так как обеспечивает независимость работы водоотливных установок на верхнем и нижнем горизонтах. При второй схеме водоприемный зумпф и насосная станция располагаются ниже рабочего горизонта, путем забуривания и взрывания скважин на несколько метров в глубину. Очистка пространства и формирование зумпфа производится экскаватором. Недостатком третьей схемы являются дополнительные объемы гор-

ной массы для подготовки горизонта опережающим вскрытием.

Для оценки влияния вышеуказанных факторов на технико-экономические показатели водоотлива и карьера в целом необходимо выполнить следующие расчеты:

- произвести оценку влияния занятости карьерного пространства под водоотливными установками на производительность экскаваторов;

- оценить объемы руды, находящиеся в зоне обслуживания водоотливной установки и по годовой производительности карьера определить время отработки объемов для рассматриваемых схем;

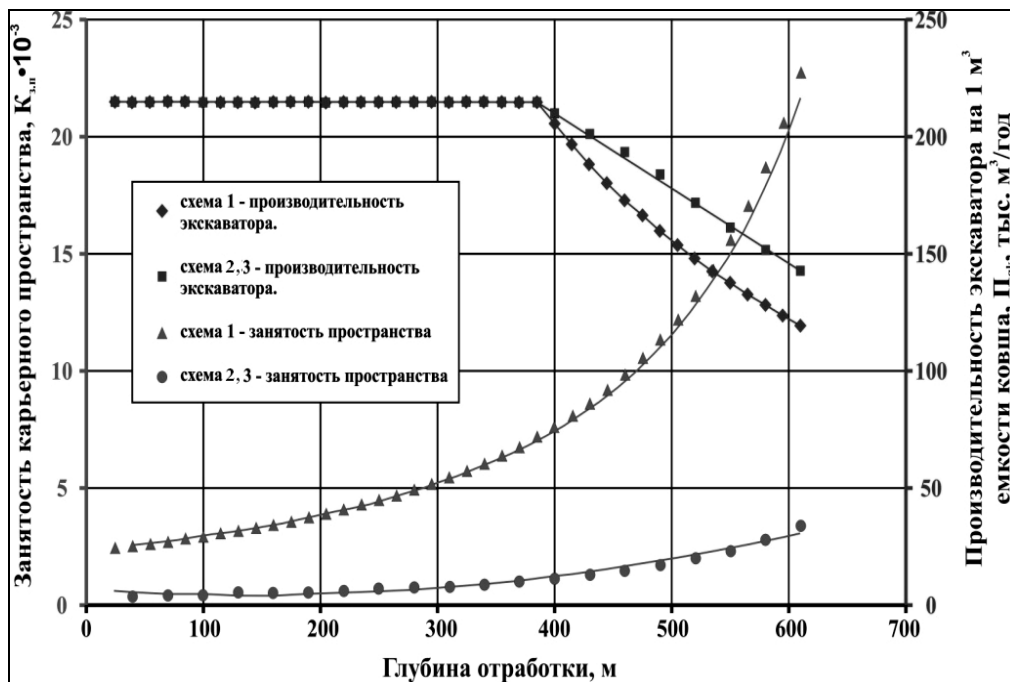
- определить количество стоянок комплекса водоотливных установок (КВУ) за весь период отработки карьера для применяемых схем;

- оценить величину снижения производительности карьера, связанную с переносом водоотливных сооружений;

Занятость карьерного пространства под КВУ характеризуется коэффициентом занятости, который определяется как отношение площади под инженерными коммуникациями (в нашем случае под комплексом водоотливных установок) к площади дна карьера. Площадь дна карьера на каждом горизонте отработки определяется исходя из размеров карьера по поверхности ( $R_{\text{пов.}}$ ), глубины отработки ( $H$ ) и угла наклона борта карьера ( $\alpha$ ). Тогда коэффициент занятости определяется из выражения:

$$K_{\text{з.п.}} = \frac{S_{\text{ком}}}{\pi \left( R_{\text{пов.}} - \frac{H}{\tan \alpha} \right)^2} .$$

Площадь под водоотливными установками рассчитывается для каждой схемы отдельно, исходя из площадей, занятых под водоприемным зумпфом ( $S_{\text{з}}$ ), насосной станцией ( $S_{\text{н.с.}}$ ) и охран-



**Рис. 2.** Изменение занятости карьерного пространства под водоотливными установками и производительности экскаватора на 1 м<sup>3</sup> емкости ковша с глубиной отработки карьера «Удачный»

ным целиком под насосные установки ( $S_{\text{охр.цел.}}$ ). Расчет необходимой емкости зумпфа производится на основании максимального расчетного суточного притока воды в карьерное пространство. Так для первой и третьей схемы площадь под коммуникациями равна:  $S_{\text{ком.}} = S_3 + S_{\text{н.с.}} + S_{\text{охр.цел.}}$ , для второй схемы  $S_{\text{ком.}} = S_3 + S_{\text{н.с.}}$ .

В работе [4] установлено, что с увеличением глубины карьера увеличивается стесненность карьерного пространства, что негативно влияет на производительность горных машин. Показатель стесненности рабочей зоны карьера ( $K_{\text{с.з.}}$ ) характеризуется отношением диаметра карьера по дневной поверхности к его глубине.

Ранее проведенными исследованиями [3] выявлена зависимость занятости карьерного пространства под

КВУ со стесненностью. В общем виде полученная зависимость имеет следующий вид:

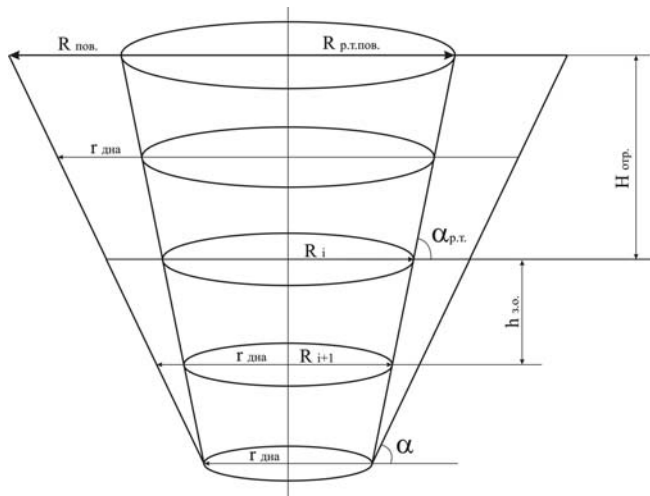
$$K_{\text{с.з.}} = \frac{2 \left( \sqrt{\frac{S_{\text{ком.}}}{\pi \cdot K_{\text{з.п.}} \cdot \tan \alpha} + H} \right)}{H}$$

Взаимосвязь производительности экскаватора ( $\Pi_{\text{эк}}$ ) с занятостью карьерного пространства:

$$\Pi_{\text{эк}} = -1,82 + 55,48 \frac{2 \left( \sqrt{\frac{S_{\text{ком.}}}{\pi \cdot K_{\text{з.п.}} \cdot \tan \alpha} + H} \right)}{H}, \text{ м}^3/\text{год}$$

где  $S_{\text{ком.}}$  – площадь под инженерными коммуникациями м<sup>2</sup>;  $\alpha$  – угол наклона борта карьера, град.;  $H$  – глубина отработки, м;  $K_{\text{з.п.}}$  – коэффициент занятости.

Как видно из рис. 2, снижение производительности экскаваторов по данному фактору наблюдается с глубины около 400 м.



**Рис. 3. Схема к расчету площади дна карьера и объемов руды в зоне обслуживания**

При этом наибольшее снижение производительности на  $1 \text{ м}^3$  емкости ковша соответствует схеме с расположением зумпфа на горизонте отработки как следствие большей занятости под КВУ. При принятой производительности добычной машины ЭКГ-12,5 общее снижение производительности за весь период отработки карьера составит  $553,5 \text{ тыс. м}^3$  на  $1 \text{ м}^3$  емкости ковша ( $17,3 \text{ млн. т}$ ) при схеме с расположением зумпфа на горизонте отработки и  $289,1 \text{ тыс. м}^3$  ( $9,03 \text{ млн. т}$ ) при схемах с расположением зумпфа на нижележащем горизонте и с перебором рабочего пространства. Так как средняя производительность карьера по руде  $6,5 \text{ млн т/год}$ , то потери производительности по фактору занятости приведут к увеличению срока отработки карьера на  $2,6$  и  $1,4$  года соответственно.

Таким образом, по фактору занятости карьерного пространства под КВУ предпочтительнее являются схемы с подготовкой зумпфа путем перебора рабочего горизонта и с расположением зумпфа на нижележащем го-

ризонте отработки, подготовленном опережающим вскрытием.

Усредненные объемы руды, находящиеся в зоне обслуживания водоотливной установки, рассчитываются, исходя из геометрической формы залегания полезного ископаемого (рис. 3) с использованием формулы для расчета объема усеченного конуса.

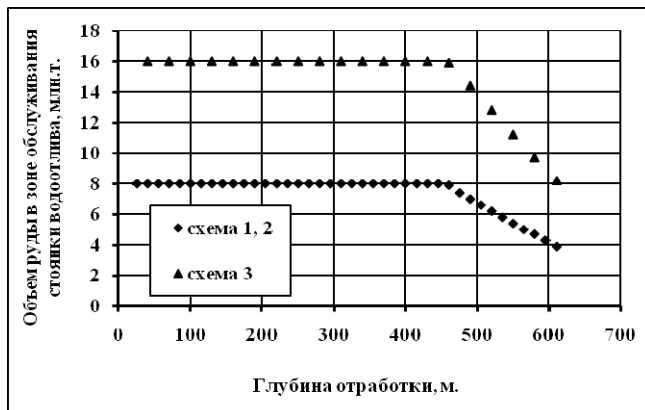
$$V_{з.о.} = \pi \cdot h_{з.о.} \cdot (R_i^2 + R_{i+1}^2 + R_i R_{i+1}) / 3 \cdot \gamma,$$

где  $V_{з.о.}$  - объем руды в зоне обслуживания, т.;  $h_{з.о.}$  - высота отрабатываемой зоны обслуживания, м.;  $R_i$  - радиус рудного тела на  $i$ -том горизонте, м.;  $R_{i+1}$  - радиус рудного тела на  $i+1$ -ом горизонте, м.;  $\gamma$  - объемный вес полезного компонента, т./ $\text{м}^3$ .

При схемах с расположением зумпфа на горизонте отработки и с подготовкой зумпфа путем перебора рабочего горизонта высота зоны обслуживания равна высоте уступа ( $h_{з.о.1,2} = h_{уст.}$ ); при схеме с расположением зумпфа на нижележащем горизонте отработки, подготовленном опережающим вскрытием, высота зоны обслуживания равна высоте двух уступов ( $h_{з.о.3} = 2h_{уст.}$ ).

Радиус рудного тела изменяется с глубиной ( $H_{отр.}$ ) отработки и зависит от угла падения рудного тела ( $\alpha_{р.т.}$ ). Тогда на любом горизонте для вычисления объема зоны обслуживания формула примет вид:

$$V_{з.о.} = \frac{\pi h_{з.о.} \left( (R_{р.т.пов.} - \frac{H_{отр.}}{\tan \alpha_{р.т.}})^2 + (R_{р.т.пов.} - \frac{H_{отр.} + n_{з.о.}}{\tan \alpha_{р.т.}})^2 \right)}{3} + \frac{(R_{р.т.пов.} - \frac{H_{отр.}}{\tan \alpha_{р.т.}})(R_{р.т.пов.} - \frac{H_{отр.} + n_{з.о.}}{\tan \alpha_{р.т.}})}{3}, \gamma, \text{ млн т.}$$



**Рис. 4. Изменение объемов добычи руды в зоне обслуживания водоотливной установки с глубиной карьера**

Так на примере отработки карьера «Удачный» (рис. 4), по рассчитанным данным получены графики изменения объемов добычи руды в зоне обслуживания с глубиной ведения горных работ.

Как видно из рис. 4, применение схемы водоотлива с расположением зумпфа на нижележащем горизонте, подготовленном опережающим вскрытием, позволяет увеличить объем руды в зоне обслуживания и тем самым увеличить срок стоянки КВУ.

Число стоянок КВУ за весь период отработки карьера нарастающим итогом определяется исходя из количеств

ва обрабатываемых зон обслуживания, равного отношению конечной глубины карьера к высоте зоны обслуживания. По числу стоянок КВУ за весь период отработки карьера определяется время простоев водоотлива:

$$T_{\text{прост.}} = T_{\text{м.-д.}} \cdot N_{\text{пер.}}, \text{ смен.}$$

где  $T_{\text{м.-д.}}$  – время на монтаж-демонтаж КВУ, смен.;  $N_{\text{пер.}}$  – число стоянок КВУ.

Из рис. 5 видно, что применение схемы водоотлива с расположением зумпфа на нижележащем

горизонте, подготовленном опережающим вскрытием, для условий трубки «Удачная» позволяет снизить простой карьера на монтаж-демонтаж КВУ за весь период отработки в 2 раза.

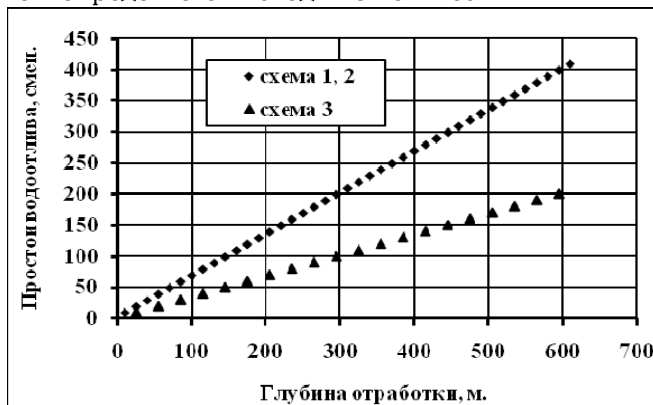
С учетом простоев водоотлива по каждой схеме определяется срок отработки карьера.

$$T_{\text{отр.}} = V_{\text{з.о.}} / Q_{\text{год}} + T_{\text{прост.}}, \text{ лет.}$$

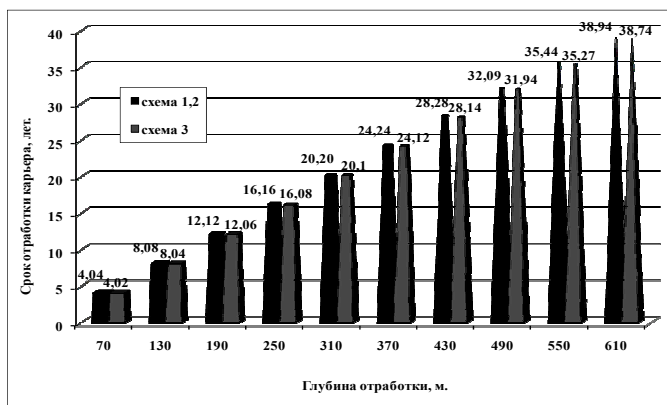
где  $V_{\text{з.о.}}$  – объемы руды, находящиеся в зоне обслуживания водоотливной установки, млн т.;  $Q_{\text{год}}$  – годовая производительность карьера по руде, млн т/год;  $T_{\text{прост.}}$  – простои водоотлива, смен.

Из-за простоев водоотлива, связанных с переносом водоотливных сооружений, происходит снижение производительности карьера по руде, которое влечет за собой увеличение срока его отработки в целом (рис. 6).

Как видно из рис. 6, наибольшее увеличение срока отработки карьера по фактору простоев наблюдается при первой и второй схемах водоотлива, а наименьшее при третьей.



**Рис. 5. Изменение простоев водоотлива на производство монтажа-демонтажа КВУ с глубиной ведения горных работ**



**Рис. 6. Изменение срока отработки карьера «Удачный» в зависимости от схемы водоотлива с глубиной ведения работ**

Таким образом для условий карьера «Удачный» определяющими являются такие факторы, как: снижение производительности добычного оборудования, связанное с занятостью

пространства под КВУ и простой карьера по причине монтажа-демонтажа водоотливных сооружений, в совокупности которые ведут к увеличению срока отработки карьера. При этом предпочтительней является схема с расположением зумпфа на нижележащем горизонте, обеспечивающая минимальные простои карьера на перемещение КВУ и занятость карьерного пространства под водоотливными коммуникациями.

Результаты выполненных исследований показывают, что предложенный методический подход позволяет выбрать рациональную схему водоотлива для глубоких обводненных карьеров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шелоганов, В.И. Карьерные водоотливные установки / В.И. Шелоганов. // МГИ. - Москва. - 1972. - 136 с.
2. Панишев, С.В. Инженерные коммуникации как фактор занятости карьерного пространства / С.В. Панишев, Е.Л. Алькова // Горн. Информ.-аналит. Бюллетень. 2002.-№11.-С.167-169.
3. Алькова, Е.Л. К вопросу о влиянии карьерного водоотлива на технологию отработки глубоких горизонтов кимберлитовых карьеров / Е.Л. Алькова, С.П. Альков // Горн. Информ.-аналит. Бюллетень. 2004.-№7.-С.197-201.
4. Андросов, А.Д. Влияние горнотехнических факторов на технологические показатели отработки глубоких горизонтов кимберлитовых карьеров / А.Д. Андросов, К.Н. Саввинов // Горное дело: проблемы и перспективы. – Якутск.- 1994 г. – С.108-112.
5. РосБизнесКонсалтинг // Алмазодобывающая промышленность, Обзор отрасли. – 2003 – март. – 22 с.
6. Newpk Ru. Rough and Polished. 2007. // www.rough-polished.com. **ГИАБ**

#### Коротко об авторах

Алькова Е.Л. – научный сотрудник, E-mail: s.v.panishev@igds.ysn.ru  
 Панишев С.В. – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, E-mail: s.v.panishev@igds.ysn.ru  
 Ермаков С.А. – старший научный сотрудник, кандидат технических наук, заведующий лабораторией ОГР, E-mail: s.a.ermakov@igds.ysn.ru  
 Учреждение Российской Академии наук, Институт горного дела Севера им Н.В. Черского Сибирского отделения РАН, г. Якутск,