

УДК 622.013.364.2:519.72

Аленичев Михаил Викторович
инженер, НПО «Новатор»
e-mail: alenichev@mail.ru

Аленичев Виктор Михайлович
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка 58
e-mail: alenichev@igduran.ru

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛНОТЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗАПАСОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РОССЫПЕЙ

Аннотация:

Изложен геоинформационный подход к проблеме повышения полноты извлечения запасов при разработке россыпей открытым способом. Использование изоповерхностей содержания позволило создать математический аппарат для определения параметров отработки приконтактных зон (кровли, почвы и бортов залежи) с учетом безубыточности добычи и переработки вмещающих пород, содержащих полезный компонент.

Ключевые слова: потери, продуктивный пласт, кровля, почва (плотик), бортовые целики, геоинформатика, поверхность изосодержания, условие безубыточности

DOI: 10.18454/2313-1586.2016.04.152

Alenichev Michael V.
engineer, NGO «Novator»
e-mail: alenichev@mail.ru

Alenichev Victor M.
Doctor of technical sciences, professor,
the Institute of mining UB RAS,
620075, Yekaterinburg,
58 Mamin-Sibiryak st.
e-mail: alenichev@igduran.ru

GEOINFORMATIONAL SOFTWARE OF RESERVES EXTRACTION COMPLETENESS DURING PLACERS DEVELOPMENT

Abstract:

The paper presents geo-informational approach to the problem of increasing the completeness of reserves extraction during placers development by open pit. Using content isosurfaces has permitted to set a mathematical apparatus for determining the parameters of mining the marginal areas (roof, soil and deposit walls), taking into account the breakeven production and processing of enclosing rocks containing useful component.

Key words: losses productive seam, roof, soil (raft), side pillars, geo-information, surface iso-content, breakeven condition

В настоящее время одним из ключевых направлений социально-экономического развития Российской Федерации является рациональное освоение ресурсов недр, характеризующее, наряду с экономикой, полнотой извлечения запасов месторождений, адекватной в большинстве случаев допустимым потерям полезного ископаемого [1]. Несмотря на переход страны к рыночной экономике, регулирующими документами при недропользовании остаются «Типовые методические указания по определению, нормированию, учету и экономической оценке потерь твердых полезных ископаемых при их добыче» [2] и разработанные на их основе отраслевые инструкции [3 – 7]. В целях адаптации к современным условиям недропользования появилась необходимость в совершенствовании классификации и учета потерь твердых полезных ископаемых при разработке месторождений твердых полезных ископаемых [1, 8 – 11].

Эффективным направлением повышения использования геопотенциала месторождения является внедрение горно-геологических информационных технологий (ГГИС-технологий) на основе геоинформационных моделей природных и техногенных образований, компьютерного мониторинга движения запасов, учета и определения эксплуатационных и технологических потерь. Необходимость совершенствования классификации и учета потерь особенно проявляется при разработке золотосодержащих россыпных месторождений, требующих меньших затрат на их освоение по сравнению с коленными. Кроме того, золото характеризуется высокой ликвидностью и ограниченностью его запасов в России. Увеличение полноты извлечения запасов из недр при открытой разработке россыпей может быть достигнуто за счет обоснованного определения

границ выемки продуктивных масс в приконтактных зонах, что в конечном результате приведет к увеличению геопотенциала месторождения.

Государство как собственник недр заинтересовано в максимальном их использовании, а недропользователь как арендатор недр ориентирован на получение достаточно высокой прибыли, исключительно чувствительной к изменению цены на товарную продукцию. Дальнейшая гармонизация этих интересов в рамках российского недропользования требует определенного времени при условии совершенствования законодательной базы.

Цель дальнейших исследований в этом направлении заключается в применении ГГИС-технологий для повышения использования геопотенциала россыпных месторождений и техногенных образований за счет совершенствования классификации и учета потерь при добыче, создания математических зависимостей для описания границ отработки приконтактных зон, моделирования количественно-качественных характеристик продуктивного пласта с учетом пространственной связи геоданных. Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- анализ классификаций эксплуатационных потерь при открытой разработке россыпей;
- оценка существующих классификаций потерь полезных ископаемых при добыче;
- обоснование методических рекомендаций по совершенствованию учета и классификации потерь полезного ископаемого в рыночных условиях;
- разработка математической модели продуктивного пласта, обеспечивающей повышение георесурсов россыпи при условии безубыточной ее отработки;
- разработка математической модели для определения основных параметров усложненной бестранспортной системы разработки при вскрытии глубоких россыпей мощными драглайнами;
- обоснование и разработка методики моделирования техногенных россыпей с учетом пространственной связи геоданных.

При этом идея и новизна подхода для решения поставленных задач состоит в представлении границ эксплуатационного продуктивного пласта поверхностями безубыточности и моделировании природных и техногенных россыпей с учетом пространственной связи геоданных, предоставляемых ГИС-технологией лицу, принимающему управленческие решения по повышению эффективности и полноты извлечения запасов.

Научные положения, обеспечивающие полноту извлечения запасов из недр при разработке россыпей открытым способом, включают:

- Разделение потерь полезного ископаемого на потери во временно неактивных целиках и потери при добыче, включающие эксплуатационные и технологические, позволяет увеличить налогооблагаемую базу и сократить число учитываемых мест возникновения потерь.
- Математическое описание контуров продуктивного пласта поверхностями изо-содержания, построенными на основе функционально-факторных уравнений нелинейной регрессии с самоопределяющимися параметрами (уравнений, трендов ФСП), обеспечивает повышение полноты отработки россыпи до границ безубыточности.
- Алгоритм моделирования пространственной связи геоданных позволяет устанавливать количественно-качественные характеристики полезного компонента не только в природных золотосодержащих россыпях, но и в техногенных образованиях, формирование которых по сравнению с природными месторождениями происходит без проявления эффекта кластеризации.

Фундаментальные положения Российской Федерации по рациональному использованию и охране недр регулируются Законом «О недрах» (ст. 23), где сформулированы требования к недропользователю по обеспечению полноты извлечения из недр основных и совместно с ними залегающих полезных и попутных компонентов и проведению

достоверного учета извлекаемых и оставляемых в недрах запасов. Запасы полезного ископаемого по конкретным месторождениям учитываются в государственном реестре, а динамика их движения по мере разработки учитывается недропользователем по специальным формам. Сравнение погашенных в недрах запасов с учетом их потерь и разубоживания используется для мониторинга и контроля показателей качества ведения горных работ.

Показатели полноты извлечения запасов из недр и качество выемки полезного ископаемого прогнозируются в перспективных, текущих и оперативных планах по добыче минерального сырья. При перспективном планировании используются имеющиеся геологические материалы и эскизные технологические решения, а при текущем планировании – уточненная в процессе разработки месторождения горно-геологическая информация и подробно проработанные планы развития горных работ. По мере разработки месторождения, вследствие переходных технологических процессов добычи, количество и качество полезного ископаемого изменяется из-за эксплуатационных потерь и разубоживания. Трансформация перехода полезного ископаемого из балансовых запасов в недрах в товарную продукцию характеризуется несколькими показателями: потерями, разубоживанием, извлечением, содержанием полезных и вредных компонентов.

В создание научных основ и методов определения, оценки, нормирования и учета потерь твердых полезных ископаемых при добыче внесли вклад коллективы специалистов и ученых под руководством академика М.И. Агошкова, завершив эту работу созданием типовых методических указаний (ТМУ). По большинству принципиальных положений эти ТМУ в условиях рыночной экономики сохранили свою легитимность, практическую значимость и повсеместную применимость. Значительный вклад в развитие теории и практики ресурсосбережения внесли академик К.Н. Трубецкой, чл.-корр. Д.Р. Каплунов и чл.-корр. В.Л. Яковлев, доктора технических наук Р.П. Каплунов, Е.И. Панфилов, С.А. Филиппов, С.В. Шаклеин и др. Решению задачи ресурсосбережения на основе геоинформационного обеспечения и использования ГИС-технологий посвящены работы докторов технических наук В.С. Хохрякова, С.Д. Коробова, В.М. Аленичева, В.И. Суханова, С.В. Корнилова, С.М. Ткача, В.М. Шека и др.

В результате исследований [9 – 11], проведенных с участием авторов, установлено следующее. Для повышения полноты использования геопотенциала золотоносных россыпных месторождений при открытом способе разработки целесообразно систематизировать учет движения запасов путем выделения потерь во временно неактивных запасах и при добыче, что увеличивает налогооблагаемую базу и уменьшает число учитываемых мест возникновения потерь. Реализация этих предложений позволяет создать единую методологию учета и классификации потерь: потери в целиках, потери при добыче с разделением последних на эксплуатационные потери и технологические потери (потери при переработке).

Учет запасов в целиках разного назначения в ГКЗ РФ обеспечит сохранение информации о пространственном расположении, количестве и качестве сырья, переведенного в неактивные запасы традиционными методами разработки, а выставляемые на аукцион для повторного освоения ранее разрабатываемые месторождения не потребуют дополнительных затрат потенциального недропользователя на повторную разведку и оценку запасов [9, 10].

Достоверность учета полноты извлечения запасов на месторождениях твердых полезных ископаемых зависит от адекватности параметров используемой модели реальному геологическому объекту.

Основной составной частью геометрических моделей являются поверхности. Оценка пространственной изменчивости кровли, почвы и боковой поверхности пласта зависит от используемого математического аппарата для их моделирования.

Отечественные и зарубежные компьютерные программы [12 – 17] для моделирования рудного пласта базируются на сеточных и каркасно-блочных методах, которые

дают весьма грубые оценки координатного положения кровли и подошвы пласта в геопространстве между скважинами. Такой же малой точностью и информативностью обладают полигональные и сплайновые модели поверхностей второго и третьего порядка.

Разработанная в Институте горного дела УрО РАН методика построения 3D-модели контура рудного пласта с использованием функционально-факторных уравнений нелинейной регрессии с самоопределяющимися параметрами (уравнений, трендов ФСП) позволяет наиболее полно и достоверно отображать положение рудных пластов в геопространстве разрабатываемого месторождения [18 – 21]. Исходными узловыми точками для моделирования поверхности подошвы и кровли продуктивного пласта являются координаты нижних (Z_i, X_i, Y_i) интервалов рудных кондиций, подсеченных буровыми скважинами. В бортовых целиках за границей контура запасов содержание полезных компонентов описывается поверхностями изосодержания заданного уровня по данным геологического опробования.

Построение поверхностей изосодержания по данным геологического и оперативного опробований позволяет оценить границы безубыточной отработки залежи.

Правомерность использования критерия нулевой прибыли [22] при обработке приконтактных зон россыпных золотосодержащих месторождений обусловлена необходимостью ресурсосбережения и уровнем безубыточности золотодобывающих предприятий, не превышающей $0,6 \div 0,7$ после освоения проектных мощностей, что свидетельствует об устойчивой их экономической деятельности. Сущность предлагаемой инновации заключается в методике определения эксплуатационной мощности продуктивного пласта во вмещающих породах, содержащих полезный компонент.

При наличии полезного ископаемого в покрывающих породах определяется минимальное содержание полезного компонента $C_T^{\text{МИН}}$, удовлетворяющее условию безубыточной их добычи и переработки [22]:

$$C_T^{\text{МИН}} = \frac{Z_{\text{ДОБ}} + Z_{\text{ПЕР}}}{\mu \cdot Ц},$$

где $Z_{\text{ДОБ}}$ – общие затраты на выемку 1 м^3 горной массы из слоя, приуроченного к изоповерхности минимального содержания, руб./ м^3 ;

$Z_{\text{ПЕР}}$ – общие затраты на промывку 1 м^3 горной массы, руб./ м^3 ;

μ – сквозное извлечение полезного компонента, д.е.;

$Ц$ – цена полезного ископаемого, сдаваемого в государственный фонд, руб./г.

После этого строятся математические модели поверхности минимального содержания и подошвы вскрывающего уступа $H_1^{\text{ВУ}}$, учитывающей геолого-технологические свойства продуктивного пласта, характеризующиеся изменчивостью отметок кровли пласта и рабочей площадки, формируемой землеройной техникой при выемке горной массы.

Средняя мощность по полигону определяется из выражения:

а) удаляемых пород $m_{\text{СР}}^T$ при вскрытии россыпи

$$m_{\text{СР}}^T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i^T = \frac{1}{N} \left\{ \sum_{i=1}^N \left[\min[(Z_i^{\text{ДП}} - Z_1^{\text{ВУ}}), (Z_i^{\text{ДП}} - Z^{\text{СМИН}})] \right] \right\}; \quad (1)$$

б) защитного слоя

$$m_{\text{СР}}^{\text{ЗС}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i^{\text{ЗС}} = \frac{1}{N} \left\{ \sum_{i=1}^N \left[\max[(Z_{li}^{\text{ВУ}} - Z_i^{\text{КР}}), (Z_i^{\text{СМИН}} - Z_i^{\text{КР}})] \right] \right\}; \quad (2)$$

где $Z_i^{\text{ДП}}$ – высотные отметки дневной поверхности в i -й точке полигона;

$Z^{\text{СМИН}}$ – высотные отметки i -й точки на изоповерхности содержания.

Величина потерь в плотике существенно зависит от рельефа его поверхности, наличия в нем трещин значительной и положения продуктивной массы (пласта) в вертикальном разрезе рыхлых отложений. При хорошо выраженном продуктивном пласте, приуроченном к относительно ровной поверхности монолитного плотика, потери полезного компонента исключаются за счет проведения тщательной зачистки плотика. При залегании россыпи на закарстованном плотике и наличии карстовых полостей, представляющих собой провалы в известняках, потери достигают значительной величины. При разработке россыпей со слабым разрушенным плотиком потери можно исключить за счет проведения задиры его на необходимую глубину.

На уральских золотоносных россыпях плотики представлены обычно щебенистыми, дресвянистыми (обломки горных пород и минералов), глинистыми и монолитными породами. Потери в плотике россыпи зависят от изменчивости рельефа поверхности плотика, крепости и степени трещиноватости и закарстованности слагающих его пород, а также типа оборудования, применяемого для зачистки и выемки продуктивной массы из западин.

По литологическому признаку и положению продуктивного пласта в вертикальном разрезе выделяются следующие группы россыпей [23]:

- литология продуктивного пласта хорошо выражена, пласт приурочен к плотике, представленному в основном аллювиальными образованиями;
- продуктивная масса представлена двумя и более пластами, лежащими на ложном плотике;
- продуктивный пласт по литологическим признакам не выделяется в разрезе рыхлой толщи и залегает независимо от положения плотика.

Места образования эксплуатационных потерь в основном определяются положением продуктивного пласта в вертикальном разрезе рыхлых отложений (табл. 1).

Таблица 1

Положение продуктивного пласта и места образования эксплуатационных потерь

Положение продуктивного пласта в вертикальном разрезе рыхлых отложений		
Продуктивный пласт по литологическим признакам хорошо выражен и приурочен к плотике	Продуктивный пласт лежит на ложном плотике	Продуктивный пласт по литологическим признакам не выделяется и подстилается закарстованными породами
Места образования эксплуатационных потерь		
борт карьера, плотик, геологические нарушения	борт карьера, плотик, геологические нарушения	борт карьера, западения в плотике, геологические нарушения

Содержание полезного компонента в плотике, удовлетворяющее нулевой безубыточности добычи и переработки горной массы, вынимаемой из плотика, в конкретных производственных условиях определяется из выражения [22]:

$$C^{\text{пл}} = \frac{Z_{\text{ДОБ}}^{\text{п}} + Z_{\text{ПЕР}}^{\text{п}}}{k_{\text{к}} \cdot k_{\text{д}} \cdot k_{\text{и}} \cdot \text{Ц}}, \quad (3)$$

где $k_{\text{к}}$ – коэффициент изменения качества песков при добыче,

$k_{\text{к}} = 1 - p$; $k_{\text{д}}$ – коэффициент извлечения песков при добыче,

$k_{\text{д}} = 1 - П$; $k_{\text{и}}$ – коэффициент извлечения при обогащении.

Для вычисленного содержания $C^{ПЛ}$ строится изоповерхность содержания $H^{C^{ПЛ}}$ по данным опробования разведочных скважин в плотике. Методика построения изоповерхности содержания полезного компонента в плотике аналогична методике моделирования подобных поверхностей в торфах. Для уточнения пространственного положения изоповерхности содержания используются данные оперативного геологического опробования плотика.

Средняя глубина заделки плотика по полигону вычисляется по формуле:

$$h_{CP}^{ЗАЧ} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h_i^{ЗАЧ} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h_i^{ЗАД} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \max \left[(Z_i^{ПОД} - Z_{li}^{ДУ}), (Z_i^{ПОД} - Z_i^{C^{ПЛ}}) \right]. \quad (4)$$

Данная зависимость позволяет по условию нулевой безубыточности определить допустимую глубину зачистки плотика, ограниченную минимальным содержанием полезного компонента.

Потери в западинах обусловлены неполнотой выемки продуктивной массы из узких щелевидных углублений. При использовании гидравлических экскаваторов с нижним черпанием или небольших драглайнов размеры потерь в западинах зависят от их геометрических размеров и неровностей стенок, крепости пород, усилий резания на зубьях ковша, соответствия параметров и траектории движения рабочего органа выемочной машины размерам западины в ее самой нижней и узкой части. При пологих стенках, когда ширина западений превышает радиус черпания экскаватора, отработка их ведется в последнее время гидравлическим экскаватором с нижним черпанием или драглайнами и особых технологических затруднений не вызывает.

Практика уральских россыпей показывает, что при использовании небольших драглайнов или гидравлических экскаваторов с нижним черпанием возможна полная или частичная отработка западений любой формы. При этом применяются, как правило, различные технологические схемы и многократная переэкскавация продуктивной массы (рис. 1).



Рис. 1 – Отработка западин гидравлическими экскаваторами с обратной лопатой

Характер контактов полезного ископаемого и вмещающих пород при разработке наклонных ($\alpha \geq (25 - 45)^\circ$) и крутопадающих ($\alpha \geq 45^\circ$) рудных тел оценивается тремя критериями: формой, визуальной доступностью и прочностью. Для оценки сложности формы контура рудных тел используется контурный модуль, определяемый отношением между половиной периметра разведанного контура полезного ископаемого и суммарной длиной короткой и длинной осей этого контура. Как показала практика отработки месторождений твердых полезных ископаемых, с уменьшением контурного модуля повышается эффективность отработки приконтактных зон за счет снижения прирезки вмещающих пород. Общий показатель сложности формы контура на россыпном месторождении определяется как средневзвешенная величина контурных модулей всех продуктивных «песков» (тел), включенных в подсчет запасов.

Из-за несовпадения углов откосов уступов с углами падения залежи образуются треугольники потерь, размеры которых зависят от высоты уступа H , углов падения залежи α и направления продвижения очистного уступа относительно падения контактов. Высота треугольников потерь h определяет соотношение между потерями полезного ископаемого и разубоживанием пустыми породами. Оптимальная величина потерь в этом случае определяется точкой безубыточности [22].

Высота треугольника потерь h определяется путем решения следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} f(h) = 0,5h^2 \cdot \gamma_p \cdot c_B \cdot k_{СКВ} \cdot \Pi + 0,5H^2 \cdot \gamma_B \cdot c_B \cdot k_{СКВ} \cdot \Pi - H \cdot h \cdot \gamma_B \cdot c_B \cdot k_{СКВ} \cdot \Pi + 0,5h^2 \cdot \gamma_B \cdot c_B \cdot k_{СКВ} \cdot \Pi - \\ - (h^2(S_{ДОБ} + S_{ПЕР}) + 0,5H^2(S_{ДОБ} + S_{ПЕР})) - H \cdot h \cdot (S_{ДОБ} + S_{ПЕР}) = 0, \\ 0 \leq h \leq H \end{cases}$$

где H – высота уступа, м

γ_p, γ_B – плотность, соответственно, продуктивных песков и пустых пород, т/м³;

$c_B, c_{БОР}$ – содержание полезного компонента в продуктивных песках и пустых породах, г/т;

$k_{СКВ}$ – коэффициент сквозного извлечения, д.е.

При отработке пологозалегающих залежей потери песков возникают на границе кровли и почвы залежи. Размеры данных потерь зависят от положения добычного уступа относительно поверхности висячего и лежащего боков залежи.

Оптимальная ширина добычного забоя R при бортовом содержании полезного компонента $c_{БОР}$, среднем содержании в обрабатываемых запасах c_B и содержании в разубоживающих породах c_B связана с длиной основания треугольника потерь R_{Π} следующей зависимостью [7]:

$$R = R_{\Pi} \cdot \frac{\gamma_p(c_B - c_{БОР}) + \gamma_B(c_{БОР} - c_B)}{\gamma_B(c_{БОР} - c_B)}, \quad (5)$$

где $c_{БОР}$ – бортовое содержание полезного ископаемого, г/т.

Величина эксплуатационных потерь песков в приконтактных зонах кровли и почвы залежи на единицу длины контура ($\Delta l = 1$) определяется по формуле:

$$\Pi_{\Delta l = 1} = \frac{R^2 \sin \alpha \cdot \sin \beta}{2 \sin(\beta - \alpha)}, \text{ м}^3. \quad (6)$$

Выводы:

– правомерность использования критерия нулевой прибыли при обработке приконтактных зон обусловлена необходимостью ресурсосбережения месторождений ценных компонентов и уровнем безубыточности золотодобывающих предприятий, не превышающей $0,6 \div 0,7$ после освоения проектных мощностей;

– инновационная сущность технологического предложения состоит в том, что оценка эксплуатационных потерь полезного ископаемого в приконтактных и приконтурных зонах (кровля, почва и боковые поверхности) производится на основе критерия чистой прибыли, равной нулю, т.е. по условию безубыточности;

– повышение геопотенциала россыпного месторождения достигается выемкой продуктивной массы из приконтактных зон (покрывающие торфа и подстилающие пород плотика, боковые вмещающие породы) эксплуатационного пласта, ограниченного поверхностями содержания, отвечающего условию безубыточности добычи полезного компонента.

Литература

1. Трубецкой К.Н. Совершенствование методических основ определения и учета потерь твердых полезных ископаемых при освоении месторождений (в порядке обсуждения) / К.Н. Трубецкой, Е.И. Панфилов // Маркшейдерия и недропользование. – 2015. – № 4 (78). – С. 3 – 13.

2. Типовые методические указания по определению, нормированию, учету и экономической оценке потерь твердых полезных ископаемых при добыче / Госгортехнадзор СССР // Сборник руководящих материалов по охране недр. - М.: Недра, 1973. – 211 с.

3. Методика нормирования, определения и учета потерь и разубоживания руды и песков при открытом раздельном способе разработки коренных и россыпных месторождений алмазов АК "АЛРОСА"/ Якутниипроалмаз. – Якутск, 2000. – С. 187.

4. Методические указания по нормированию, определению и учету потерь и разубоживания золотосодержащей руды (песков) при добыче / Иргиредмет. – Иркутск, 1994. – 265 с.

5. Отраслевая инструкция по определению, учету и нормированию потерь руды при разработке железорудных, марганцевых и хромитовых месторождений на предприятиях МЧМ СССР / ВИОГЕМ. – Белгород, 1975. – 69 с.

6. Отраслевая инструкция по определению и учету потерь нерудных строительных материалов при добыче / МПСМ СССР. – Тольятти, 1974. – 32 с.

7. Отраслевая инструкция по определению, нормированию и учету потерь и разубоживания руды и песков на рудниках и приисках Министерства цветной металлургии СССР / МЦМ СССР. – М.: Недра 1977. – 197 с.

8. Аристов И.И. Корректировка ТМУ по определению и нормированию потерь твердых полезных ископаемых при добыче / И.И. Аристов // Рациональное освоение недр. – 2011. – № 3. – С. 18 – 28.

9. Аленичев В.М. Совершенствование классификации потерь полезных ископаемых применительно к современным условиям недропользования / В.М. Аленичев, М.В. Аленичев, Ф.Ф. Борисков // Недропользование XXI век. – 2009. – № 2. – С. 36 – 40.

10. Аленичев В.М. Совершенствование учета потерь твердых полезных ископаемых в рыночных условиях / В.М. Аленичев, М.В. Аленичев // Недропользование – XXI век. – 2012. – № 3 (34). – С. 28 – 30.

11. Яковлев В.Л. Пути повышения эффективности освоения запасов на основе совершенствования методов нормирования потерь / В.Л. Яковлев, В.М. Аленичев // Маркшейдерия и недропользование. – 2015. – № 2 (77). – С. 24 - 28.

12. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика / Ю.Е. Капутин. – СПб.: Наука. – 2002. – 424 с.

13. Техническое задание на создание ГГИС. - URL: <http://pitcad-agava.ru/quarrycad/Quar-rytzall.htm> (Дата обращения: 02.08.2015)
14. Datamine is the world leading provider of Geology and Mining Software Solutions required to plan, manage and optimize mining operations. - URL: [https://www. Website.informer.com](https://www.Website.informer.com) > [datamine.co.uk](https://www.datamine.co.uk). (Дата обращения: 06.06.2014).
15. Rock Works is the software solution for subsurface data management, analysis and 2D/3D visualization. - URL: rockware.com > [product/lobby.php?Id=165](http://rockware.com/product/lobby.php?Id=165) (Дата обращения: 02.08.2016)
16. Gemcom Surpac (Surpac Vision) - Русская версия. - URL: https://www.surpac.com/grinikkos.com/view_post.php?Id=159. (Дата обращения: 01.09.2015)
17. Горно-геологические информационные технологии. - URL: <http://www.urlw.ru/-w.geocad-it.ru>. (Дата обращения: 05.07.2014)
18. Антонов В.А. Оценка корреляционной связности геоданных горного предприятия / В.А. Антонов, В.М. Аленичев // ГИАБ. – 2007. – № 10. – С. 318 - 322.
19. Автоматизированная информационная система оценки интервалов корреляционной связности признаков геотехногенных объектов / В.А. Антонов, В.М. Аленичев и др. // ГИАБ. – 2008. – Об № 10 – С. 76 - 85.
20. Аленичев В.М. Геонформационное обеспечение снижения эксплуатационных потерь при разработке россыпей экскаваторно-гидравлическим способом / В.М. Аленичев, М.В. Аленичев, В.А. Антонов // ГИАБ. - 2013. – № 11. – С. 187 – 202.
21. Антонов В.А. Моделирование рудных пластов в проектировании и управлении горных работ / В.А. Антонов, В.М. Аленичев // Маркшейдерия и недропользование. – 2013. – № 6. – С. 19 – 24.
22. Методические рекомендации при оценке инвестиционных проектов (вторая редакция). – М.: Экономика, 2000. – 422 с.
23. Временные методические указания по разведке и подсчету запасов золотых и золото-платиновых россыпных месторождений Урала / Объединение «Уралгеология». – Свердловск, 1985. – 73 с.