

## ФОРМИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ КАРЬЕРОВ С УЧЕТОМ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЯЮЩИМСЯ УСЛОВИЯМ РАЗРАБОТКИ ГЛУБОКОЗАЛЕГАЮЩИХ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

ЯКОВЛЕВ В. Л.<sup>1</sup>, ЯКОВЛЕВ В. А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт горного дела УрО РАН  
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58)

*Целью статьи* является обоснование необходимости адаптации транспортной системы к изменяющимся условиям разработки месторождения с ростом глубины карьера.

*Методология.* Предложено два варианта методологического подхода к обоснованию стратегии формирования транспортной системы карьера: на действующих предприятиях и при освоении запасов новых месторождений. Составными частями теории формирования транспортных систем глубоких карьеров являются: исследование закономерностей формирования грузопотоков при поэтапной разработке месторождений; обоснование оптимальной продолжительности отработки отдельных этапов, сроков долговременной консервации и расконсервации временно нерабочих бортов карьеров под транспортными коммуникациями.

*Результаты исследования.* На основе изучения опыта проектирования и эксплуатации карьеров большой глубины и производительности, а также многолетних научных исследований установлено, что к моменту освоения проектной мощности по полезному ископаемому и горной массе невозможно создать транспортную систему, которая могла бы обеспечить эффективную разработку месторождения в течение всего срока службы карьера.

*Выводы.* Показано, что в условиях непрерывного роста глубины рабочей зоны карьера, нарастания геологической, горнотехнической и технико-экономической информации требуется выделение этапов формирования карьерного пространства, изменение параметров систем разработки, развитие транспортной системы карьера путем одновременного, последовательного и комбинированного применения нескольких видов и технических средств транспорта с учетом достоинств и недостатков отдельных видов транспорта, выделены зоны их эффективного применения по глубине карьера.

*Ключевые слова:* транспортная система; карьерный транспорт; глубокие карьеры; переходные процессы; поэтапное развитие; сложноструктурные месторождения.

Опыт эксплуатации карьеров, практика проектирования новых и реконструкции действующих горнодобывающих предприятий, результаты многолетних научных исследований свидетельствуют о том, что для карьера глубиной более 200–300 м к моменту освоения проектной мощности невозможно создать транспортную систему, которая могла бы обеспечить эффективную разработку месторождения в течение всего срока службы карьера [1, 2].

Специфика освоения глубокозалегающих сложноструктурных месторождений твердых полезных ископаемых состоит в том, что их разработка продолжается десятки лет. Начинаясь с открытой геотехнологии, в условиях непрерывного роста глубины рабочей зоны карьера характеризуется нарастанием геологической, горнотехнической и технологической информации и требует безусловного выделения

этапов формирования карьерного пространства, изменения параметров систем разработки, формирования транспортной системы карьера путем применения новых видов транспорта и т. д., т. е. практически пересмотра большинства принятых проектных решений, в том числе уточнения глубины карьера и необходимости перехода к подземной или комбинированной разработке месторождения.

Главной причиной исследования переходных процессов в технике и технологии горно-обогатительного производства минерального сырья является высочайшая степень зависимости от природной изменчивости геологических параметров глубокозалегающих сложноструктурных месторождений, информация о которых нарастает по мере развития горных работ [3–5], что требует, наряду с изменением горнотехнических условий, периодического перехода на новые параметры техники и технологии с целью адаптации горнотехнической системы к изменяющимся условиям функционирования горно-обогатительного производства [6].

Разработка глубоких крутопадающих месторождений осуществляется поэтапно, с выделением промежуточных контуров, временной консервацией части рабочих бортов карьера, в связи с чем при переходе от одного этапа к другому перестройка транспортной системы карьера становится неизбежной [7].

В процессе развития карьера, смены условий разработки и транспортирования горной массы эффективность различных видов транспорта изменяется неодинаково, поэтому для обеспечения оптимальных параметров транспортной системы карьера необходимо ее периодическое обновление с введением новых видов транспорта.

Технический прогресс в развитии действующих и создании новых видов транспорта за длительный период эксплуатации карьера позволяет неоднократно менять оценку эффективности применения тех или иных видов транспорта и пересматривать решение о целесообразности их применения в конкретных горнотехнических условиях.

В научно-методическом плане решение транспортной проблемы глубоких карьеров имеет следующую специфику: вместо решения задачи о выборе вида транспорта, как она обычно формулировалась многие годы, стоит вопрос о разработке научно обоснованной теории последовательного формирования транспортных систем глубоких карьеров в течение всего срока службы до конца отработки месторождения.

Составными частями теории формирования транспортных систем глубоких карьеров являются:

- исследование закономерностей формирования грузопотоков при поэтапной разработке месторождений;
- обоснование оптимальной продолжительности отработки отдельных этапов, сроков долговременной консервации и расконсервации временно нерабочих бортов карьеров под транспортными коммуникациями;
- техническая и технологическая оценки основных видов карьерного транспорта и обоснованно рациональных параметров и условий их применения в общей транспортной системе глубоких карьеров в различные периоды их эксплуатации;
- разработка критерия оптимальности стратегии формирования транспортной системы до конца отработки месторождения;
- разработка методики определения моментов перехода на новые виды и схемы транспорта и установления пространственных границ рациональной эксплуатации различных видов транспорта в предельных контурах карьера;
- оптимизация параметров погрузочного и транспортного оборудования и элементов транспортной системы карьера с учетом динамики горнотехнических ус-

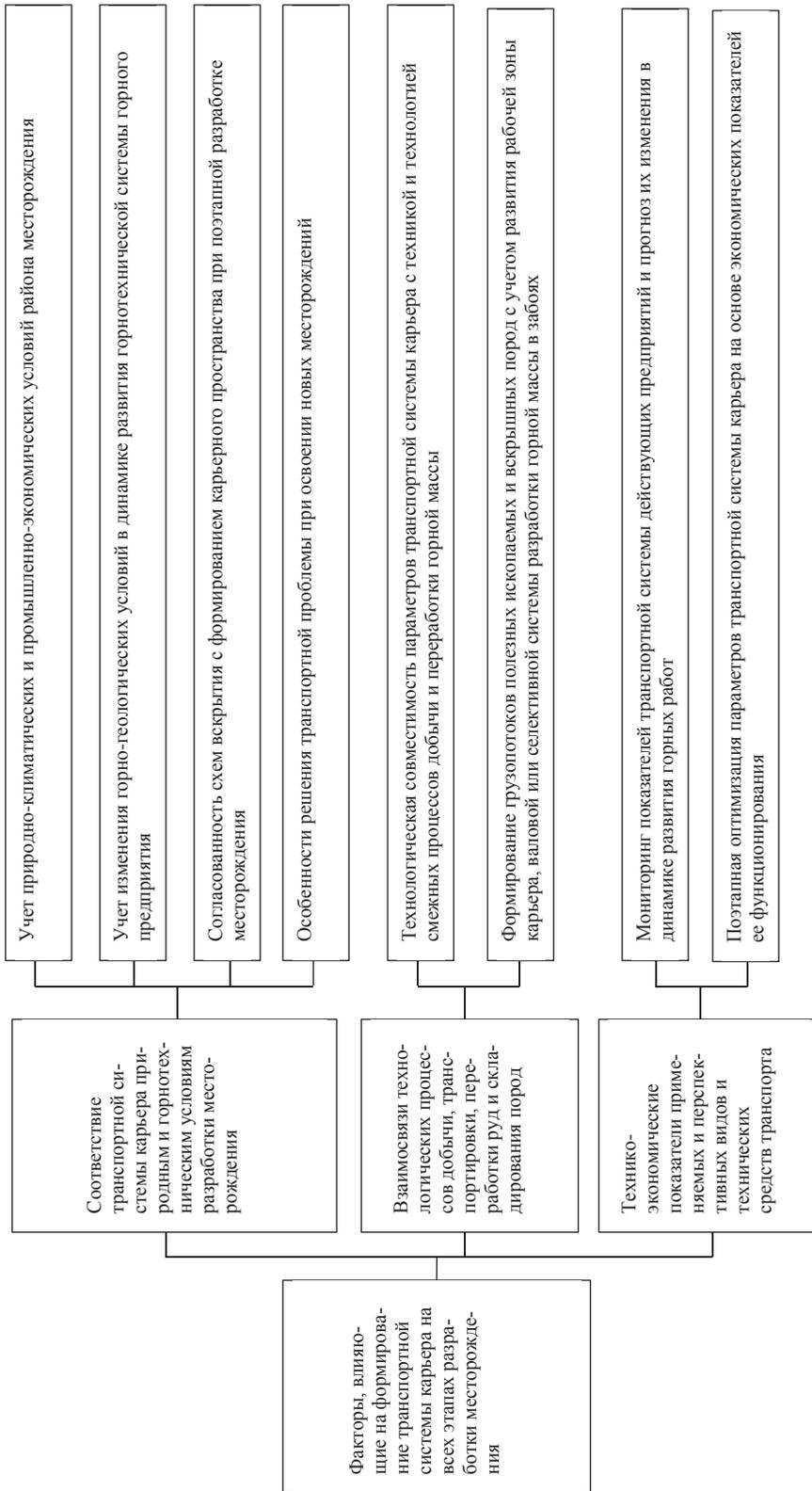


Рис. 1. Систематизация факторов, влияющих на формирование транспортной системы карьера при разработке глубокозалегающих сложноструктурных месторождений

Fig. 1. Systematization of the factors which influence the formation of open pit transport system when developing deep-lying complex structured deposits

ловий и соответствующих им технико-экономических показателей используемых видов и технических средств транспорта;

– типизация схем формирования транспортных систем глубоких карьеров.

Обобщающим принципом, которым следует руководствоваться при решении всех вопросов, связанных с транспортом, является оптимизация параметров транспортной системы карьера на всех этапах разработки месторождения. Этот принцип может быть сформулирован в виде целевой функции и учитывает непосредственное или опосредованное воздействие всех основных групп влияющих факторов: природных, технических, технологических и социально-экономических. Реализуется принцип при формировании алгоритмов выбора оптимальных параметров как отдельных подсистем, так и горно-обогатительного комбината в целом.

На современном этапе технологического развития в горнодобывающих отраслях экономики следует выделить два существенно различных варианта методологического подхода к обоснованию стратегии формирования и развития транспортных систем карьеров при разработке глубокозалегающих сложноструктурных месторождений твердых полезных ископаемых:

– на действующих горнодобывающих предприятиях, входящих в состав горно-обогатительных комбинатов;

– при освоении запасов новых месторождений.

Большинство предприятий было запроектировано, построено, введено в эксплуатацию в период плановой экономики на основе отраслевых норм технологического проектирования, и дальнейшее их развитие, в том числе формирование транспортных систем карьеров, должно осуществляться с учетом сложившегося состояния горнотехнических систем и изменяющихся условий их дальнейшего функционирования.

Важнейшей особенностью освоения запасов глубокозалегающих сложноструктурных месторождений является уникальность геологических параметров каждого из них и их высокая природная изменчивость в пределах месторождений, которая проявляется по мере развития горных работ в результате нарастания геологической информации о формах и размерах рудных тел, качественном составе полезных ископаемых, что требует не только изменения параметров систем разработки и методов управления качеством поставляемой на переработку рудной массы, но и формирования грузопотоков транспортной системы карьера (рис. 1).

Главными факторами, определяющими технико-экономические показатели процесса транспортирования горной массы, являются расстояние и высота подъема, величина которых по мере развития горных работ зависит не только от роста глубины карьера, но и от принятого режима горных работ, поэтапности формирования карьерного пространства и параметров транспортной системы карьера.

Условия разработки глубокозалегающих сложноструктурных месторождений зависят от этапа освоения запасов месторождения.

На этапе строительства карьера производятся горно-капитальные работы для вскрытия месторождения в объеме, предусмотренном проектом к моменту сдачи карьера в эксплуатацию в соответствии с проектом организации строительства, которым предусмотрено сооружение пунктов размещения вскрышных пород, приема полезного ископаемого для переработки с получением товарной продукции и подлежащих складированию отходов обогащения, строительство транспортных коммуникаций и подготовка фронта добычных работ для эффективной и безопасной эксплуатации заложенного в проекте выемочно-погрузочного и транспортного оборудования, зданий и сооружений для их обслуживания и ремонта.

**Технологические достоинства и недостатки различных видов транспорта**  
**Technological advantages and disadvantages of various transport types**

Достоинства	Недостатки	Рекомендуемые области применения
<i>Автомобильный транспорт</i>		
<p>Высокая маневренность</p> <p>Возможность селективной разработки полезных ископаемых</p> <p>Быстрый ввод в действие в начальный период строительства карьера</p> <p>Возможность большой концентрации работ на ограниченном фронте</p> <p>Независимость движения отдельных транспортных единиц</p> <p>Простота устройства заездов в карьер, в том числе на нижние горизонты, с использованием спецмашин для уклонов до 30 %</p>	<p>Высокая себестоимость перевозок</p> <p>Зависимость от климатических условий</p> <p>Засорение атмосферы карьера выхлопными газами</p> <p>Большой штат водителей и ремонтных рабочих</p>	<p>Транспортировка вскрышных пород в начальный период строительства карьера</p> <p>Отработка верхних уступов вблизи предельного контура</p> <p>Вскрытие и подготовка новых горизонтов</p> <p>Работа в качестве сборочного звена при комбинированных видах транспорта</p> <p>Доработка запасов до дна карьера с применением углубочных комплексов</p>
<i>Железнодорожный транспорт</i>		
<p>Высокая экономическая эффективность при больших объемах и дальности перевозок</p> <p>Надежность работы в любых климатических условиях</p> <p>Высокая производительность труда поездных бригад</p> <p>Возможность разработки горных пород с любыми физико-механическими свойствами</p>	<p>Большой объем путевых работ и их трудоемкость</p> <p>Сложность организации заездов на нижние горизонты карьера</p> <p>Взаимозависимость движения составов по общим транспортным коммуникациям</p> <p>Низкие эксплуатационные показатели при малых объемах перевозок</p> <p>Большой объем подготовительных работ при вводе в эксплуатацию</p>	<p>Верхняя и центральная части рабочей зоны карьера с погрузкой непосредственно в забое экскаватора</p> <p>Вывоз горной массы с перегрузочных пунктов при комбинированном транспорте</p> <p>Транспортировка горной массы по поверхности при значительном удалении от фабрик и отвалов</p>
<i>Конвейерный транспорт</i>		
<p>Равномерность и непрерывность</p> <p>Минимальная протяженность транспортных коммуникаций</p> <p>Высокая производительность труда</p> <p>Независимость от рельефа местности</p>	<p>Необходимость предварительного дробления крупнокускового материала</p> <p>Взаимозависимость всех звеньев конвейерной линии</p> <p>Большой износ ленты и сложность ее замены</p> <p>Зависимость от климатических условий</p>	<p>Выдача горной массы от дробильно-грохотильных перегрузочных пунктов в карьере до приемных устройств на поверхности</p> <p>Передача горной массы с автомобильного транспорта на железнодорожный при комбинированном автомобильно-конвейерно-железнодорожном транспорте</p>

Одним из инновационных способов решения транспортной проблемы глубокозалегающих месторождений является применение циклично-поточной технологии с момента ввода карьера в эксплуатацию [8, 9].

При этом не исключен вариант, когда в период строительства применяется горная и транспортная техника, отличная от предусмотренной проектом для работы после сдачи карьера в эксплуатацию. Особенно это характерно для разработки месторождений в новых, не освоенных регионах при отсутствии развитой инфраструктуры, транспортных коммуникаций, источников электроэнергии.

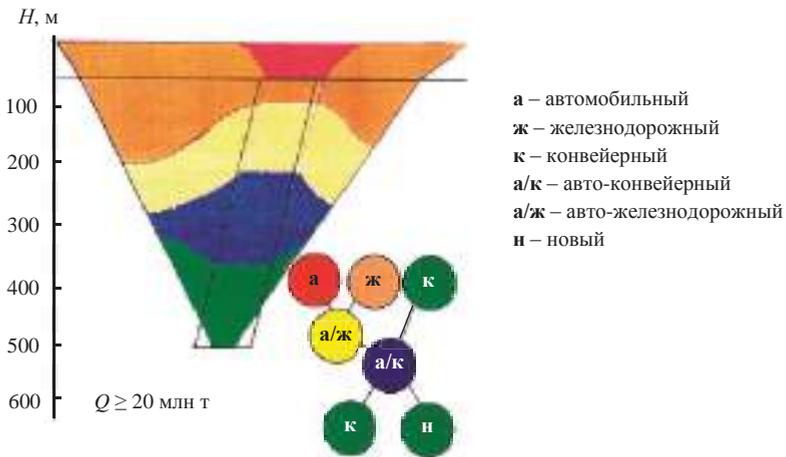


Рис. 2. Зоны эффективного применения видов транспорта по глубине карьера  
 Fig. 2. Zones of transport types effective use according to the depth of an open pit

На этапе разработки месторождения от момента ввода карьера в эксплуатацию до достижения проектной мощности по горной массе и полезному ископаемому накапливается опыт эксплуатации горной и транспортной техники, уточняются параметры залежей и содержание в них полезного ископаемого и попутных полезных компонентов, физико-механические свойства горных пород, вносятся коррективы в планы горных работ на перспективу, в том числе в параметры системы разработки, развитие транспортной системы карьера, приведение ее в соответствие с темпами понижения горных работ и вскрытия новых горизонтов.

В процессе дальнейшей разработки месторождения формирование транспортной системы карьера осуществляется во взаимосвязи с поэтапным развитием горных работ, формированием временно нерабочих бортов с учетом развития рабочей зоны, обеспечения поставки на последующую переработку необходимого количества и качества добываемого минерального сырья.

Поэтапность формирования карьерного пространства позволяет регулировать режим горных работ, снижать текущий коэффициент вскрыши путем временной консервации части рабочих бортов карьера за счет уменьшения ширины рабочих площадок и расположения на них транспортных коммуникаций (съездов).

Многолетними исследованиями практической работы горных предприятий при разработке месторождений полезных ископаемых карьерами большой глубины и производительности установлены технологические достоинства и недостатки различных видов транспорта (таблица) и доказано, что в течение всего срока существования карьера одновременное, последовательное, самостоятельное или комбинированное применение нескольких (как правило, двух или трех) видов транспорта является неизбежным, а зоны их технологически и экономически эффективного применения (рис. 2) определяются при проектировании и уточняют-

ся в процессе развития горных работ и нарастания геологической и технико-экономической информации о показателях функционирования горнотехнической системы карьера.

К необходимости периодической корректировки проектных решений по развитию транспортной системы карьера может привести нарастание информации о технико-экономических показателях действующей горнотехнической системы, количестве и качестве запасов основного и попутных полезных компонентов, изменившихся условиях внешней среды (экология, потребность в сырье и др.).

Решение транспортной проблемы глубоких карьеров существенно зависит от установленных проектом границ и способов вскрытия глубоких горизонтов, в том числе с применением роботизированных комплексов [10, 11].

Завершающим этапом развития горных работ и формирования транспортной системы карьера является вскрытие и извлечение запасов до установленной проектом предельной глубины карьера, при этом возможны два варианта:

- горные работы прекращаются и предстоит осуществление комплекса мер по предотвращению негативного экологического воздействия на окружающую среду;
- осуществляется переход на подземную или комбинированную разработки запасов месторождения с возможным использованием транспортной системы карьера во взаимосвязи с подземной геотехнологией [12].

Таким образом, заложенные в проекте по данным геологического отчета о месторождении технические и технологические решения, способ разработки, производственная мощность, запасы основного и попутных полезных компонентов и другие показатели могут не подтвердиться, заказчики потребуют уменьшить или увеличить объемы добываемого сырья, инвесторы могут не обеспечить покрытие дополнительных затрат на приобретение нового оборудования и т. п., что потребует принятия решений по переходу предприятия в новое состояние: развития, «затухания» или консервации, потребуются новые технологии, оборудование, организация производства и т. п. Все это приведет к необходимости принятия решений по поэтапной адаптации параметров горнотехнической системы предприятия, в том числе его транспортной системы, к изменяющимся условиям функционирования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев М. В. Научные основы проектирования карьерного транспорта. М.: Наука, 1972. 202 с.
2. Яковлев В. Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров. Новосибирск: Наука, 1989. 240 с.
3. Батугин С. А., Яковлев В. Л. Закономерности развития горного дела. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. 116 с.
4. Яковлев В. Л. Особенности методологического подхода к обоснованию стратегии освоения сложноструктурных месторождений на основе исследования переходных процессов // ГИАБ. 2015. Спец. вып. № 30. С. 22–34.
5. Корнилов С. В., Яковлев В. Л. О методологическом подходе к исследованиям в области освоения недр на основе системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности // Горный журнал. 2015. № 1. С. 4–9.
6. Трубецкой К. Н., Корнилов С. В., Яковлев В. Л. О новых подходах к обеспечению устойчивого развития горного производства // Горный журнал. 2012. № 1. С. 15–19.
7. Ческидов В. И., Саканцев Г. Г., Саканцев М. Г. Комплексное обоснование границ карьеров и способов вскрытия глубоких горизонтов при разработке крутопадающих пластообразных залежей // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 2. С. 17–23.
8. Яковлев В. Л., Кармаев Г. Д., Берсенев В. А., Сумина И. Г. О моменте ввода циклично-поточной технологии на карьерах // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 3. С. 4–11.
9. Глебов А. В., Семенкин А. В., Кармаев Г. Д., Берсенев В. А. Эффективность применения циклично-поточной технологии при разработке Актагайского месторождения меди // Горное оборудование и электромеханика. 2017. № 3. С. 12–16.
10. Трубецкой К. Н., Рыльникова М. В., Владимиров Д. Я., Пыталев И. А. Условия и перспективы внедрения роботизированных геотехнологий при открытой разработке месторождений // Горный журнал. 2017. № 11. С. 60–65.
11. Журавлев А. Г. Обоснование рациональных технических параметров горнотранспортных машин // ГИАБ. 2016. Спец. вып. № 21. С. 75–87.

12. Яковлев В. Л., Соколов И. В., Саканцев Г. Г., Кравчук И. Л. Исследование переходных процессов при комбинированной разработке рудных месторождений // Горный журнал. 2017. № 7. С. 46–50.

Поступила в редакцию 10 апреля 2018 года

Яковлев В. Л., Яковлев В. А. Формирование транспортных систем карьеров с учетом адаптации к изменяющимся условиям разработки глубокозалегающих сложноструктурных месторождений // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 6. С. 118–126.

#### Сведения об авторах:

**Яковлев Виктор Леонтьевич** – доктор технических наук, член-корр. РАН, главный научный сотрудник Института горного дела УрО РАН. E-mail: yakovlev@igduran.ru

**Яковлев Василий Алексеевич** – младший научный сотрудник лаборатории транспортных систем карьеров и геотехники Института горного дела УрО РАН. E-mail: r5544@yandex.ru

### OPEN PIT TRANSPORT SYSTEMS FORMATION WITH THE ACCOUNT OF ADAPTATION TO DEEP-LYING COMPLEX-STRUCTURED DEPOSITS DEVELOPMENT CHANGING CONDITIONS

Iakovlev V. L.<sup>1</sup>, Iakovlev V. A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mining, Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia.

*The aim of the article* is to substantiate the need for transport system adaptation to changing conditions of deposits development with increasing depth of an open pit.

*Methodology.* Two variants of methodological approach to open pit transport system formation strategy substantiation: at operating enterprises and under new deposits reserves exploitation. Deep open pits transport systems formation theory component parts are the following: investigation into the traffic formation regularities under deposits staged development, optimum duration substantiation of separate stages development, periods of long-term conservation and reactivation of temporarily non-mining open pit edges under transportation lines.

*Research results.* On the basis of high production and deep open pits design and exploitation experience and multi-year scientific researches it has been established that by the moment of developing design capacity of a mineral and rock mass it is impossible to create transport system which could provide effective deposit development within all service life of an open pit.

*Conclusions.* The article shows that in the conditions of open pit working zone increasing depth and increasing geological, mining engineering, and technical and economic information it is required to distinguish the stages of open pit space formation, development systems parameters modification, open pit transport system development by means of simultaneous, sequential, and combined application of several transport types and facilities taking into account advantages and disadvantages of certain types of transport; areas of their effective application according to open pit depth are identified.

*Key words:* transport system; open pit transport; deep open pits; transient processes; staged development; complex structured deposits.

DOI: 10.21440/0536-1028-2018-6-118-126

#### REFERENCES

1. Vasil'ev M. V. *Nauchnye osnovy proektirovaniia kar'ernogo transporta* [Scientific fundamentals of open pit transport design]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 202 p.
2. Iakovlev V. L. *Teoriia i praktika vybora transporta glubokikh kar'erov* [Theory and practice of deep open pits transport selection]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1989. 240 p.
3. Batugin S. A., Iakovlev V. L. *Zakonomernosti razvitiia gornogo dela* [Mining engineering development regularities]. Yakutsk, YakSC SB RAS Publ., 1992. 116 p.
4. Iakovlev V. L. [Features of methodological approach to the substantiation of a strategy of complex structured deposits exploitation on the basis of transient processes investigation]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2015, special edition no. 30, pp. 22–34. (In Russ.)
5. Kornilkov S. V., Iakovlev V. L. [Regarding the methodological approach to the investigations in the field of mineral resources exploitation on the basis of systematicity, integrity, interdisciplinarity, and innovative orientation]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2015, no. 1, pp. 4–9. (In Russ.)
6. Trubetskoi K. N., Kornilkov S. V., Iakovlev V. L. [Regarding new approaches to ensuring sustainable development of mining industry]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2012, no. 1, pp. 15–19. (In Russ.)
7. Cheskidov V. I., Sakantsev G. G., Sakantsev M. G. [Complex justification of the open pit borders and the method of deep workings in development of steeply dipping sheet-like deposits]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2015, no. 2, pp. 17–23. (In Russ.)

8. Iakovlev V. L., Karmaev G. D., Bersenev V. A., Sumina I. G. [On the introduction of the cyclic-flow technology in open pit]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal – News of the Higher Institutions. Mining Journal*, 2015, no. 3, pp. 4–11. (In Russ.)
9. Glebov A. V., Semenkin A. V., Karmaev G. D., Bersenev V. A. [Effectiveness of use of the cyclic-flow-line technologies in the development of Aktogay copper mine]. *Gornoe oborudovanie i electromekhanika – Mining Equipment and Electromechanics*, 2017, no. 3, pp. 12–16. (In Russ.)
10. Trubetskoi K. N., Ryl'nikova M. V., Vladimirov D. Ia., Pytalev I. A. [Conditions and prospects of introducing robotized geotechnologies under opencast mining]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2017, no. 11, pp. 60–65. (In Russ.)
11. Zhuravlev A. G. [Substantiation of rational engineering parameters of mining automobile machines]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) – Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, 2016, special edition no. 21, pp. 75–87. (In Russ.)
12. Iakovlev V. L., Sokolov I. V., Sakantsev G. G., Kravchuk I. L. [Investigation of transient processes under integrated development of ore deposits]. *Gornyi zhurnal – Mining Journal*, 2017, no. 7, pp. 46–50. (In Russ.)

### Information about authors

**Iakovlev Viktor Leont'evich** – Doctor of Engineering sciences, Corresponding member of RAS, professor, Institute of Mining, UB RAS. E-mail: yakovlev@igduran.ru

**Iakovlev Vasilii Alekseevich** – junior researcher of the Laboratory of Open Pit Transport Systems, Institute of Mining, UB RAS. E-mail: r5544@yandex.ru

---