© Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова, А.Ф. Илимбетов, 2007

УДК 553.43

Д.Р. Каплунов, М.В. Рыльникова, А.Ф. Илимбетов

*ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ МЕДНО-КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИЕЙ В РАСШИРЕННОМ ЦИКЛЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Семинар № 17

Создание научно-методических предпосылок для формирования геотехнологической стратегии проектирования комплексного освоения месторождений полиметаллических руд с вовлечением в эффективную промышленную эксплуатацию некондиционных запасов, отходов переработки руд, минерализованных промышленных стоков является существенным фактором расширения сы-рьевой базы металлургической промышленности.

Принятые в проектах физико-технические способы добычи не позволяют вовлечь в эффективную отработку все промышленные запасы руд, и часть фактически уже вскрытых запасов остается за контуром разработки. На горнодобывающих предприятиях, где имеется явный дефицит вскрытых и подготовленных балансовых запасов, сложилась объективная необходимость и достаточно благоприятные условия для апробации и промышленного внедрения комбинированного физико-технического и физико-химического способов добычи. Поэтому исследования в направлении изыскания новых технологических решений по развитию данных способов, обоснования параметров технологии и геотехнологической стратегии проектирования комплексного освоения месторождений комбинированной геотехнологи-ей актуальны как в научном, так и прикладном аспекте.

Развитием теории проектирования комплексного освоения недр явилось создание горнотехнических систем комбинированной физико-техничес-кой и физико-химической геотехнологии и изучение особенностей их функционирования. Были изучены горнотехнические системы, реализующие комплексное освоение месторождений полиметаллических руд при совмещении открытого, подземного и физико-химического способов добычи, и их рациональные параметры, обеспечивающие наиболее полное и эффективное извлечение георесурсов с минимизацией экологических последствий горных работ.

Объектами исследований и внедрения комбинированных геотехнологий явились медно-колчеданные месторождения Урала: Гайское, Учалинское, Сибайское, Юбилейное, Октябрьское, Подольское и Северо-Подольское, Ново-Учалинское, представленные рудами сложного вещественного состава, со-

*Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ 06-05-64541.

держащими, наряду с основными компонентами – медью и цинком, широкий спектр цветных, драгоценных металлов, редких и редкоземельных элементов.

Комбинированные геотехнологии, основанные на различных сочетаниях во времени и в пространстве в пределах одного месторождения технологических процессов открытого и подземного способов добычи, нашли достаточно широкое применение в практике горных работ. Выполненными ранее исследованиями [1] установлено, что перспективы развития комбинированной геотехнологии связаны с переходом на комплексное проектирование поэтапной отработки запасов месторождения различными способами при единой схеме вскрытия и подготовки запасов, предусматривающей оптимизацию во времени и в пространстве последовательности вовлечения отдельных участков месторождения в эксплуатацию соответствующими способами добычи. При этом выявление закономерностей фор-мирования горно-технических систем при комбинированной физико-техни-ческой и физико-химической геотехнологии стakj основой для выбора геотехнологической стратегии проектирования комплексной разработки месторождений региона.

Таким образом, целью исследований явились разработка, систематизация и классификация горнотехнических систем при комбинированных физико-технических и физико-хими-ческих способах комплексного освоения рудных месторождений, обоснование методики выбора геотехнологической стратегии их проектирования.

Для реализации поставленной цели была выдвинута идея, что повышение эффективности комплексного освоения рудных месторождений возможно на основе геотехнологической стратегии рационального распределения во времени и в пространстве открытых, подземных и физико-хи-мических методов добычи при обеспечении заданного качества добываемого сырья с надлежащим учетом неопределенности исходной геологической информации.

Это потребовало решения следующих задач:

- обобщение опыта проектирования и разработки рудных месторождений при сочетании физико-тех-нических и физико-химических способов добычи;
- систематизация вариантов комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии;
- разработка и классификация технологических схем освоения рудных месторождений комбинированными физико-техническими и физико-химическими способами;
- анализ технологических и технико-экономических показателей комбинированных способов разработки рудных месторождений;
- определение влияния основных факторов на физико-химические процессы извлечения полезных компонентов из руд;
- формирование типовых горнотехнических систем для проектирования комбинированной разработки рудных месторождений с применением физико-технических и физико-химических способов добычи;
- подготовка имитационной математической модели и моделирование геотехнологической стратегии освоения месторождений комбинированным способом.

Цикл работ предполагал использование комплексного метода исследований, включающего системно-оптимизационный анализ и обобщение отечественного и зарубежного опыта, экспертную оценку и обработку статистических данных, технологическое конст-

руирование, математическое моделирование геотехнологической стратегии освоения месторождений, научный прогноз и статистический анализ показателей, формирование системы автоматизированных расчетов.

Для развития методологии формирования горнотехнических систем при проектировании комбинированной разработки рудных месторождений с оптимизацией во времени и в пространстве параметров комплексного использования физико-техничес-ких и физико-химических методов добычи в условиях неопределенности геолого-экономической информации был проанализирован международный опыт применения комбинированных технологий и выявлены негативные и позитивные факторы применения различных комбинаций технологических процессов с оценкой основных технико-экономических показателей.

Комплексное освоение месторождений предполагает комплексное использование всех содержащихся в рудах ценных компонентов при применении рационального сочетания известных и перспективных физико-химических геотехнологий, преимущественно малоотходных, переработку и использование формируемых и ранее накопившихся отходов производства, шахтных и подотвальных вод, стоков хвостохранилищ и сформированных открытыми и подземными работами выработанных пространств. При этом рациональное комбинирование технологических процессов различных способов добычи в динамике развития горных работ на месторождении для вовлечения в эксплуатацию отдельных участков недр является необходимым и достаточным условием полного и комплексного использования всей извлекаемой горной массы.

Развитие комбинированной геотехнологии возможно двумя путями:

- совершенствованием применяемых технологических решений с обоснованием их рациональных параметров с целью повышения полноты, комплексности и обеспечения эко-логической и промышленной безопасности горных работ;
- созданием принципиально новых инновационных геотехнологий и технологических схем освоения недр, основанных на проведении научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ с целью качественного изменения техническо-экономических показателей горного производства, получения новых видов продукции.

К принципиально новым геотехнологиям, разрабатываемым в рамках исследований, относятся:

- **комбинированная геотехнология** на основе сочетания открытых и подземных горных работ, а также физико-химических способов добычи минерального сырья с получением товарной металлургической продукции;
- **химическое выщелачивание** руд и техногенных отходов горно-металлургического производства с последующим использованием кеков выщелачивания в закладке выработанного пространства подземных камер твердеющей смесью.

Важно отметить, что для повышения полноты и комплексности освоения недр представляется перспективным формирование единого горно-обогатительного комплекса по добыче и глубокой переработке полиметаллических руд (рис. 1). На одной промышленной площадке размещены рудник, обогатительная фабрика,

площадка для кучного выщелачивания и узел переработки продуктивных растворов, такие компоновочные решения широко применяются при скважинном выщелачивания урановых руд [2], а также закладочный комплекс по утилизации отходов кучного выщелачивания в закладке. При этом, наряду с эксплуатацией балансовых запасов месторождения физико-техническими способами добычи (открытым, открыто-подземным и подземным), в разработку вовлекаются методом подземного выщелачивания залежи некондиционных руд на месте залегания, методом кучного выщелачивания – бедные руды, размещенные в отвалах, и отходы обогащения. В качестве активного рабочего агента в процессах выщелачивания используются минерализованные стоки, имею-щие кислую среду, что позволяет использовать их модификации с различными добавками в качестве растворителей извлекаемых из руд ценных компонентов. Извлечение содержащихся в минерализованных стоках металлов и других элементов при переработке продуктивных растворов выщелачивания методами гидрометаллургии позволяет, с одной стороны, получить дополнительную товарную продукцию, с другой стороны, способствует очистке свободного от технологического процесса остатка промышленных стоков перед сбросом их в окружающую среду. Причем, вскрытие и подготовка залежей для подземного выщелачивания производится из выработок действующего подземного рудника или из карьера, что также повышает эффективность и привлекательность комбинированных технологий. Твердые отходы выщелачивания используются для приготовления твердеющей закладочной смеси, размещаемой в выработанное пространство подземных камер и служащей для управления состояния массива при подземной добыче руды.

Таким образом, базовая горнотехническая система комплексного освоения месторождений полиметаллических руд (см. рис. 1) включает в себя технологические подсистемы по извлечению балансовых запасов месторождения открытым способом с внешним отвалообразованием пород вскрыши и подземным способом - системами разработки с твердеющей закладкой выработанного пространства на основе отходов выщелачивания бедных руд и отходов обогащения. Самостоятельной подсистемой представлен комплекс подземного выщелачивания некондиционных руд на месте залегания и комплекс кучного выщелачивания в карьере, на поверхности и в подземных камерах второй очереди предварительно оком-кованных текущих и старогодних (размещенных в хвостохранилище) отходов обогащения. На единой промплощадке в базовой горнотехнической системе предусмотрено также размещение цеха обезвоживания и окомкования текущих и лежалых хвостов обогащения для последующего выщелачивания, цеха приготовления твердеющей закладочной смеси для закладки выработанного пространства подземных камер и цеха гидрометаллургической переработки продуктивных растворов выщелачивания.

Размещение штабелей кучного выщелачивания предварительно подготовленных отходов обогащения также целесообразно производить в выработанном пространстве отработанного карьера (рис. 2), что позволит свести к минимуму экологическое воздействие физико-химических технологий на окружающую среду. В этой связи весьма важно, что все твердые отходы выщела-

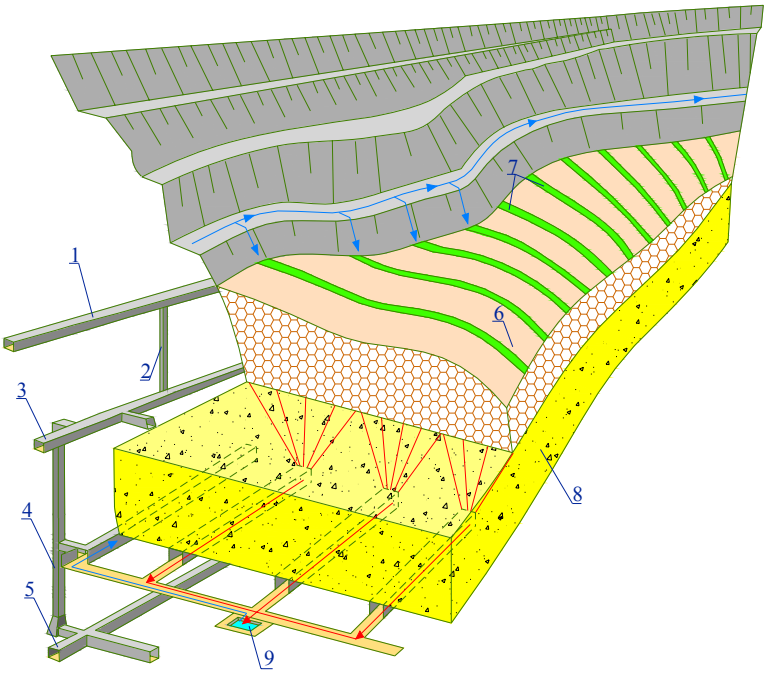

Рис. 2. Кучное выщелачивание окомкованных хвостов обогащения в отработанном карьере: *1* – вентиляционный штрек, *2* – вентиляционно-ходовой восстающий, *3* – доставочный штрек, *4* – рудоспуск; *5* – откаточный штрек; *6* – штабель окатанного материа-ла; *7* – система орошения; *8* – искусственная потолочина; *9* - прудок для сбора продуктивного раствора

чивания, как бедных руд из отвалов, так и окомкованных хвостов обогащения медно-колчеданных руд, могут быть эффективно использованы для приготовления твердеющей закладочной смеси с использованием в качестве вяжущего обожженного известняка, добываемого открытым способом из близлежащих месторождений, сопутствующих медно-колчеданным.

Следовательно, обязательным условием реализации технологической схемы комплексного освоения месторождений полиметаллических руд является использование отходов выщелачивания в технологии закладки выработанного пространства отработанных подземных камер. Причем, ввиду простоты технологической схемы приготовления твердеющей закладки из отходов выщелачивания (рис. 3) - отсутствует необходимость дробления и измельчения компонентов закладочной смеси, перемешивание всех составляющих производится непосредственно в смесителе, закладочный комплекс может быть размещен также непосредственно на берме в основании карьера, откуда закладочная смесь по скважине подается в выработанное пространство очистных камер подземного рудника.

Для повышения эффективности добычи локальных рудных тел или залежей с низким содержанием ценных компонентов, либо повышенным количеством вредных примесей, предусматрива-

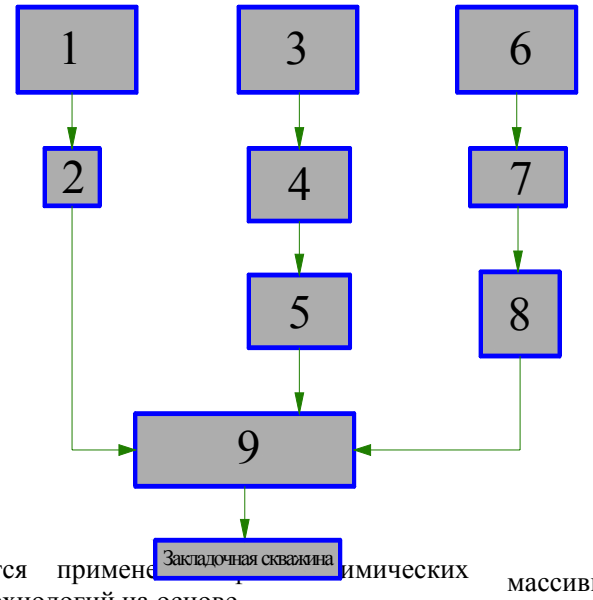

Рис. 3. Технологическая схема приготовления твердеющей закладочной смеси на основе извести и отходов выщелачивания: *1* - склад отходов выщелачивания; *2* -питатель, *3* – печь обжига известняка; *4* — склад обожженной извести; *5* – дробилка; *6* – емкость хранения ЛСТ; *7* - - дозатор ЛСТ, *8* - контактный чан для приготовления технологического раствора ЛСТ, *9* - смеситель

ется примене[illegible]имических технологий на основе

подземного выщелачивания. Эффективность данного способа добычи в базовой горнотехнической системе комплексного освоения месторождений комбинированными геотехнологиями обуславливается расположением рудных тел в зоне уже пройденных вскрывающих выработок подземного рудника. В зависимости от размеров рудных тел и их формы предлагается два варианта системы подземного выщелачивания, представленных на рис. 4 и 5.

В устойчивых рудах и достаточно крепких вмещающих породах при ограниченной горизонтальной мощности рудного тела (до 25 м) бурение скважин для орошения массива целесообразно осуществлять из вертикальных буровых выработок (рис. 4).

Если руды неустойчивые, или залежи имеют большую мощность (25 м и более), орошение необходимо проводить через скважины, пробуренные к массиву подготовленной к выщелачиванию руды из подготовительного штрека или с поверхности (рис. 5).

Учитывая, что некондиционные руды медно-колчеданных месторождений преимущественно крепкие, массивные, устойчивые и склонны к самовозгоранию, рекомендуется в камере создавать оросительную потолочину с перфорационными каналами, сформированными путем взрыва кумулятивных зарядов.

Необходимым условием эффективной реализации методов подземного выщелачивания является присутствие по контуру выщелачиваемого массива естественного водоупора. Таким естественным водоупором на медно-колчеданных месторождениях уральского типа являются расположенные на контакте с рудными залежами метасоматически измененные хлорит-серицитовые породы, которые при насыщении водой разбухают и становятся хорошим гидроизолятором.

Обязательным условием достижения требуемой эффективности и комплексности освоения месторождений полиметаллических руд является установление в базовом проекте на разработку месторождения условий применения комбинированных геотехнологий в их различ-

ных сочетаниях при вовлечении в экс- плуатацию

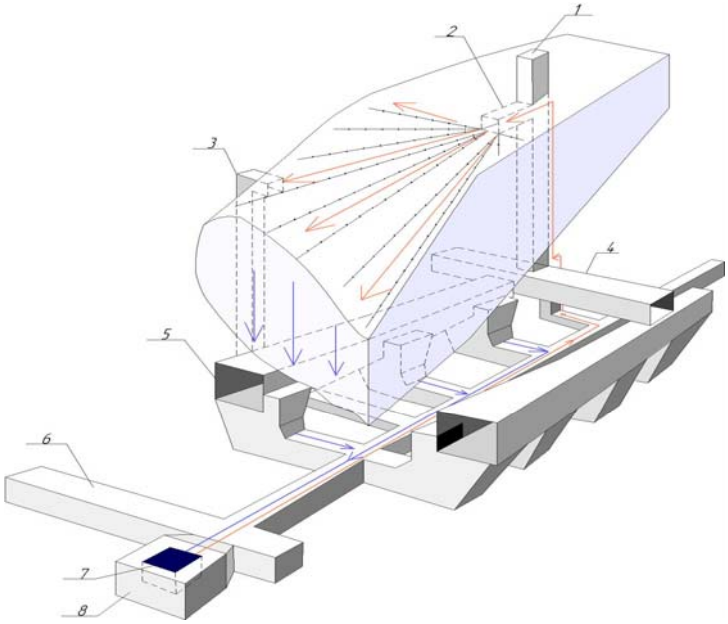

Рис. 4. Схема подготовки локального рудного тела к подземному выщелачиванию с использованием вертикальных выработок: *1* – буровой восстающий; *2* – буровая заходка; *3* – восстающий для оценки раскрытия трещин; *4* - отрезной орт; *5* – буровой штрек; *6* – погрузочный орт; *7* – емкость для сбора продуктивного раствора; *8* – камера под лебедку

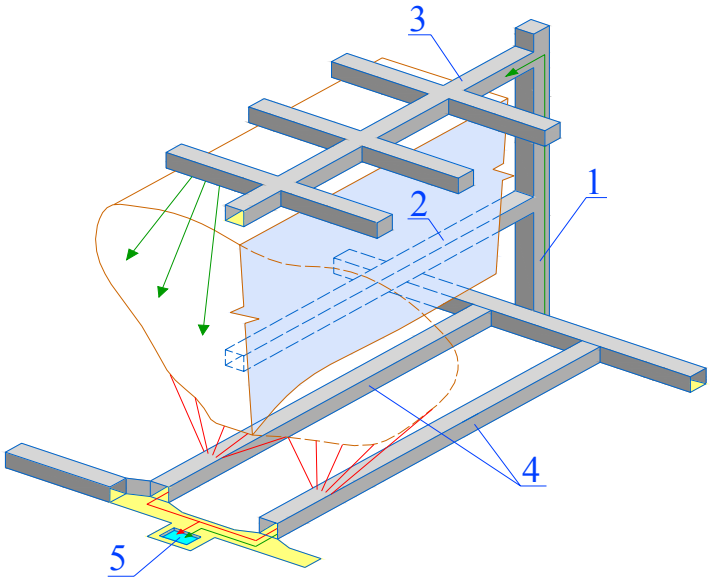

Рис. 5. Схема подготовки локального рудного тела средней мощности к подземному выщелачиванию: *1* – вентиляционно-ходовой восстающий; *2* – буровой штрек, *3* – штрек для подачи раствора выщелачивания; *4* — выработки для сбора и транспортировки продуктивного раствора; *5* – прудок накопитель

конкретных участков недр или техногенных образований. Таким образом, комбинирование технологий не должно быть вынужденной мерой на этапе затухания горных работ одним из способов добычи, а должно стать обязательным постулатом, введенным в проект комплексного освоения участка недр.

Наличие в отдельных промышленных регионах - Учалинском, Сибайском, Акьярском районах группы генетически однотипных, близко расположенных месторождений, позволяет поэтапно вводить участки месторождений в эксплуатацию и формировать комплексные решения по вскрытию и отработке запасов в едином технологическом проекте с общими транспортной схемой, закладочным комплексом, вспомогательными цехами; технологией утилизации и переработки отходов; рациональной схемой инвестирования строительства с получением положительных денежных потоков в достаточно короткие сроки.

Следовательно, принятая в проектах стратегия комплексного освоения медно-колчеданных месторождений должна предусматривать вовлечение в эксплуатацию различного по вещественному составу минерального сырья с комплексным извлечением из него ценных компонентов в единой горнотехнической системе с расширенным технологическим циклом производственных процессов комбинированной геотехнологии. Применение в процессе промышленного освоения месторождения различных способов и технологий разработки, определяемых в соответствии с конкретными горно-геологическими условиями отдельных рудных участков и залежей техногенного сырья, является реальной мерой решения проблемы существенного повышения эффективности, полноты и комплексности освоения участка недр, а также снижения экологического воздействия горных работ на окружающую среду. Эффективная реализация ресурсовоспроизводящих функций недр [3] способствует как получению дополнительной продукции и соответствующего экономического эффекта, так и улучшению экологической обстановки в районе деятельности горного предприятия.

Последовательность и пространственные параметры реализации технологических процессов должны быть определены на основе оптимизационного моделирования показателей функционирования всех технологических подсистем с установлением времени вовлечения в промышленную эксплуатацию отдельных природных участков недр, сформированных выработанных пространств и техногенных образований [4].

С этих позиций необходимо определить основные методические положения по конструированию и созданию горнотехнических систем комбинированной геотехнологии, формированию стратегии освоения месторождений и рудоносных провинций, базирующейся на целостной ресурсно-технологической оценке осваиваемых участков во всем многообразии ресурсов недр и

- поэтапный ввод отдельных участков в освоение с учетом горно-геологической и горнотехнической специфики и пространственного расположения георесурсов, а также приоритетности их извлечения;
- управление процессами освоения ресурсов с оперативным контролем изменения их состояния, местоположения и качества;
- предотвращение порчи ресурсов или снижения уровня эффективности их промышленного освоения в будущем;

- мониторинг состояния природной среды на всех этапах освоения месторождений и рудоносных провинций;

- установление параметров горных предприятий на каждом из этапов освоения рудоносных провинций, исходя из существования обратных связей между последующими и предыдущими этапами;

- производственно-технологичес-кая и экологическая сбалансированность параметров в отношении всех видов ресурсов недр.

Предпосылками реализации в проектах комплексного освоения медно-колчеданных месторождений Урала комбинированных геотехнологий с расширенным циклом производственных процессов являются:

- накопление значительных объемов техногенного сырья, уже прошедшего первичную подготовку, с достаточно высоким содержанием полезных компонентов – цветных, благородных металлов и редких элементов;
- благоприятная тенденция роста цен на эти металлы на мировом рынке сырья;
- выполненные в середине XX-ого столетия исследования процессов выщелачивания меди и цинка на медных и медно-колчеданных месторождениях Урала, благородных металлов и редких элементов на месторождениях урановых руд и золота;
- широкое промышленное внедрение в мировой практике процессов физико-химической геотехнологии;
- возможность, благодаря достижениям фундаментальной химии, комплексного и селективного извлечения из полиэлементного природного и техногенного сырья полезных компонентов заданного качества;
- имеющийся научный задел в области создания и обоснования параметров физико-химической геотехнологии применительно к комбинированной разработке медно-колчеданных месторождений;
- сложившийся дефицит минерально-сырьевой базы на действующих горнодобывающих предприятиях Урала, имеющих развитую производственную и социальную инфраструктуру

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В.* Условия формирования горнотехнических систем с единым технологическим пространством при комбинированной геотехнологии. М.: ГИАБ. 2004. № 3. с. 5-9
2. *Подземное* выщелачивание полиэлементных руд / Н.П. Лаверов, И.Г. Абдульманов, К.Г. Бровин и др.; Под ред. Н.П. Лаверова. – М.: Изд-во АГН, 1998. – 446 с.: ил. – ISBN 5-7892-0026-5
3. *Проблемы* комплексного освоения суперкрупных рудных месторождений/ Под ред. Акад. К.Н. Трубецкого, член-корр. РАН Д.Р. Каплунова. – М.: ИПКОН РАН, 2004. 440 с.
4. *Рыльникова М.В., Блюм Е.А.* Имитационное моделирование горнотехнических систем при проектировании комбинированной геотехнологии. М.: Горный журнал, 2005, № 4 с. 47-50. ГИАБ

Коротко об авторах

Каплунов Д.Р. – член-корр. РАН,
Рыльникова М.В. – профессор, доктор технических наук, ИПКОН РАН, Москва,
Илимбетов А.Ф. – кандидат технических наук, администрация Хайбуллинского района, Башкортостан.