

Научное обоснование и разработка новых методов эффективного и экологически безопасного освоения природных и техногенных месторождений Урала

В. Л. Яковлев, С. В. Корнилков (руководители проекта), Ю. Г. Антипин, Н. Ю. Антонинова, Э. П. Артемьев, Ф. Ф. Борисков, М. М. Конорев, Ю. В. Лаптев, В. Н. Рождественский, Г. Г. Саканцев, А. А. Смирнов, И. В. Соколов, Р. С. Титов, А. Л. Фельдман, Г. М. Чайкина

Институт горного дела УрО РАН

Современные условия требуют создания научно-методической базы для надежного и достаточно оперативного обоснования размещения перспективной рудной базы не только уральских горно-обогатительных предприятий, которая характеризуется значительной степенью неопределенности, что объясняется: достаточно большим количеством объектов-месторождений, подлежащих отработке или предварительному доизучению; разной величиной и степенью достоверности запасов; неоднородностью минерального и качественного состава руд, определяющего их обогатимость и потребительские свойства; неодинаковой инфраструктурной обустроенностью районов разработки, разнообразными и, как правило, сложными природно-экологическими условиями ведения горных работ, отличиями в логистике доставки добытого полезного ископаемого к местам переработки и пр.

Указанные обстоятельства потребовали разработки и апробации комплексного метода геолого-технологического-эколого-экономической оценки минерально-сырьевой базы, основанного на использовании совокупности геоинформационных моделей пространственного размещения оцениваемых объектов, их вещественного состава и учета совокупности других факторов, обеспечивающих создание условий для эффективного природо- и недропользования, на основании которого разработана методика совместной экспресс-оценки месторождений и основных параметров обрабатываемых их будущих горнодобывающих предприятий.

Отличительной особенностью оценок является целевой поиск полезных ископаемых, обеспечивающих реализацию приоритетных программ на оцениваемой территории; обоснование объемов и направлений поэтапной ускоренной разведки, сопровождающееся экспрессными геолого-технологическими и экологическими расчетами; геоинформационная поддержка проектно-технологического обеспечения комплексного освоения недр и освоения территорий, обеспечивающая максимальное полезное вовлечение всех видов ресурсов обследуемого региона и позволяющая заблаговременно использовать результаты научных исследований при выработке решений или формулировании основных ограничивающих условий при недропользовании.

При этом сокращение времени оценочных работ достигается за счет поэтапного геолого-технологического-экономического обоснования параметров будущих горнодобывающих

предприятий; максимального совмещения времени на исследовательскую и проектную подготовку месторождений с использованием опережающих или параллельных оценок, базирующихся на геоинформационном моделировании; сокращения информационной насыщенности и избыточности используемых для технологических расчетов данных при целевой компьютерной обработке исходных горно-геологических графических и текстовых материалов; а также использования выявленных системообразующих правил поиска и оптимизации технических решений, экспертных и др. оценок.

В процессе решения задач поддержания и оценки минерально-сырьевой базы (МСБ) горно-металлургического комплекса Урала разработана методика генерирования и выбора вариантов при формировании стратегий развития крупных горнодобывающих предприятий, включающая содержательные этапы: предварительного анализа МСБ, выявления системообразующих элементов МСБ, формирования краевых вариантов очередности вовлечения в отработку месторождений, предварительного отбора стратегий поддержания МСБ, обоснования программы геологоразведочных работ и выработки инвестиционных предложений по реализации программы поддержания МСБ предприятия.

Методика основана на идеологии анализа сложных систем, разработанных методах ранговой оценки МСБ, доказательстве возможности совместного использования апробированных методов технико-экономической оценки и технологических показателей (критериев-заместителей) при первичной отбраковке конкурирующих вариантов, что позволяет в кратчайшие сроки сформировать стратегию развития МСБ в условиях неопределенности исходных данных.

Для укрупненной первичной оценки разведываемых минеральных ресурсов (P_1, P_2, P_3), локализованных на территории, и приведения их к прогнозным запасам ($Z_{пр}$), соответствующим категории разведанности C_2 , предложено соотношение:

$$Z_{пр} = (P_2 + P_3) / 5 + P_1 / 2 + (C_1 + C_2), \text{ млн. т}$$

Прогнозные, ожидаемые к отработке запасы железорудного сырья, вычисленные на основании вышеуказанного соотношения применительно к известным обобщающим материалам по Полярному и Приполярному Уралу, составили 1089,51 млн. т, что подтверждается результатами выполненных аналитических работ ВИМС.

В дополнение к ранее разработанному и апробированному на практике методу квазиоптимизации параметров горного производства, основанному на последовательном описании карьеров или шахт как горно-геометрических, технологических и организационно-экономических систем, для ускорения технологических оценок и сокращения количества рассматриваемых вариантов при обосновании предпочтительности освоения или вовлечения в отработку минеральных объектов прогнозируемого или действующего горного предприятия разработана методика их ранжирования. Ранжирование основывается на балльной оценке, предусматривающей совместный учет: содержания полезных компонентов и наличия в ней вредных примесей, величины погашаемых или прогнозных запасов, способа разработки месторождения и необходимости специальных мер по охране поверхности, сроков освоения и производительности, удаленности от места переработки и наличия инфраструктуры в регионе, нарушенности земель, наличия лицензий на эксплуатацию месторождения и степени его разведанности и пр. Для примера в табл. 1 приведены результаты ранговой оценки железорудных месторождений Тагило-Кушвинского района, слагающих оцениваемую текущую и возможную к освоению минерально-сырьевую базу Высокогорского ГОКа, а также рекомендации по направлениям инвестирования.

Применительно к развитию геоинформационных технологий проектирования и оценки освоения недр предложена первичная классификация объектных исследований, основанная на выделении: геоданных, для которых обосновываются методы их обработки, исследуются способы получения и накопления, оценивается достоверность пространственно-временной геоинформации, разрабатывается методология создания и построения информационного обеспечения ГИС, баз данных и баз знаний; геообъектов,

Табл. 1. Ранжировка месторождений по степени предпочтительности вовлечения в эксплуатацию

МЕСТОРОЖДЕНИЕ	РАНГОВАЯ ОЦЕНКА	ЗАПАСЫ, МЛН. Т	НАПРАВЛЕНИЕ ИНВЕСТИЦИЙ
Собственно Естюнинское	18	161	Новое строительство, реконструкция
Ново-Естюнинское	15	107	
Осокинско-Александровское	15	36	Доразведка, реконструкция
Гороблагодатское	14	86	Реконструкция
Песчанское	14	66	Приобретение сырой руды, долевое участие в реконструкции, строительство установки для экстрагирования серы
Высокогорское	14	35	Доразведка, вскрытие глубоких горизонтов
Валуевское	14	4,7	Возобновление отработки
Северо-Гороблагодатское	12	101	Новое строительство
Лебяжинское	11	74	Вскрытие глубоких горизонтов, компенсация за снос объектов в зоне обрушения
Третье Северное	9	16/34 ^{*)}	Освоение непромышленной территории
Большереченское	9	14,5	Освоение непромышленной территории

^{*)} – 16/34 – запасы на открытую/подземную разработку, млн. т.

для которых обоснуются методы и методики их моделирования, анализируется разнородная многоуровневая геоинформация, используемая при их описании, формируются геоинформационные инфраструктуры, разрабатываются расчетные и моделирующие алгоритмы и программы; геосистем, при анализе которых вырабатываются закономерности их построения, изучается структура и взаимодействие их элементов, выбираются технологии обработки геоинформационных массивов, вырабатываются системообразующие правила поиска и оптимизации технических решений, экспертных и др. оценок.

Предложенная классификация, основанная на многолетнем опыте разработки проектов, бизнес-планов, технологических регламентов и технико-экономических обоснований, послужила основанием для разработки подходов к созданию информационных технологий предварительной экспресс-оценки эффективных параметров эксплуатации месторождений, основанных на учете свойств, показателей и параметров описываемых природно-технологических геосистем. Выделение в таких геосистемах взаимодействующих подсистем: «Район разработки», «Месторождение», «Выемочная (структурная) единица», «Перерабатывающее предприятие», «Добывающий элемент (карьер, шахта)» позволило направленно генерировать информационную среду для последующих горно-геометрических, технологических, экологических и экономических расчетов.

Выполненные технико-экономические обоснования и проекты свидетельствуют о том, что при создании минерально-сырьевой базы организация промышленной и социальной инфраструктуры в труднодоступных регионах является самым затратным элементом, поэтому основой стратегии создания и эксплуатации МСБ в этих случаях является

комплексность освоения недр при одновременном налаживании открытой инфраструктуры эксплуатирующих предприятий, в наибольшей степени интегрированных в общую экономическую структуру региона и страны в целом.. Исходя из этого, следующим новым современным принципом освоения недр, особенно в труднодоступных районах страны, и основой для организации ведения горных и геологоразведочных работ является принцип комплексного освоения территорий, позволяющий системно решать проблемы развития региона. Именно поэтому оптимизация и количественное обоснование параметров блока «Перерабатывающее предприятие» как организационно-финансовой и производственной единицы на данный момент становится ведущим и новым по сравнению с ранее применявшимися подходами к проектированию.

В процессе исследований теоретические изыскания сопровождались апробацией сформулированных подходов и методик. В качестве новых источников минерального сырья в период 2009–11 гг. для промышленного освоения выделен ряд перспективных месторождений, для которых разработаны технико-экономические обоснования (ТЭО) кондиций, технико-экономические предложения (ТЭП) по освоению, технологические регламенты (ТР) и проекты (Пр) их разработки (табл. 2):

- ▲ Южная Якутия и Дальний Восток: Эльгинское каменноугольное, Тарыннахское, Горкитское, Гаринское железорудные;
- ▲ Средний, Северный и Приполярный Урал: Вагранская золоторудная площадь, Жижинско-Шаромский участок хромитовых руд (Свердловская обл.), Яны-Турьинское железорудное месторождение (ХМАО).
- ▲ Доказана целесообразность и технолого-экономическая эффективность возобновления отработки Малышевского изумрудно-бериллиевого месторождения (Свердловская обл.) и кварцевой жилы №175 Кыштымского ГОКа (Челябинская обл.).

На методической основе, сформулированной при выполнении Программы № 24 Президиума РАН, выполнено исследование «Технико-экономическая оценка отработки месторождений твердых полезных ископаемых на Северном и Приполярном Урале (ХМАО)». Окончательные результаты работ по геолого-технолого-экономической оценке перспектив эксплуатации новых угольных, железорудных, меднорудных и хромитовых месторождений а также по отработке золота, кварцевого и цементного сырья на территории ХМАО подлежат систематизации.

Для большинства мелких месторождений Урала, ранее считавшихся нерентабельными, доказана возможность их отработки при условии обеспечения наибольшей полноты извлечения из недр за счет введения дополнительного цикла прикарьерной или внутришахтной рудоподготовки, являющейся самостоятельным технологическим процессом предварительного глубокого обогащения минерального сырья и, как следствие этого – возобновлена добыча бедных хромитовых руд на Алапаевском хромитоносном массиве (III Поденный рудник, Вершина р. Алапаихи, Курмановское месторождение) и на Жижинско-Шаромском участке Невьянского массива.

В качестве дополнительного источника минерального сырья обследованы техногенные месторождения Среднего и Южного Урала. Проведен анализ современного состояния и изучены перспективы развития минерально-сырьевой базы Уральского региона по основным видам минерального и рудного сырья (бокситы, медно-цинковые, золотосодержащие, баритовые руды, бентониты, кварцевое сырье, железная, марганцевая, хромовая руды), а также условия размещения техногенных образований действующих горнодобывающих предприятий на территории Урала.

Систематизированы основные виды отходов добычи и переработки руд цветных металлов Урала, а также установлены факторы, определяющие эффективность их вовлечения в эксплуатацию. Установлено, что техногенные отходы производства

Табл. 2. Характеристика изученных месторождений с позиций их значения для развития и модернизации экономики

Месторождение	Вид работ	Запасы, млн. т.	Произв., млн. т.	Особенности освоения	Значение для экономики региона
Эльгинское	ТР	2409,5	30,0	Поэтапный рост производства с увеличением мощности оборудования	Создание крупного горно-металлургического комбината на востоке страны
Тарыннахское	ТЭО	791,5	12,6	Доказана целесообразность отработки объединенным ГОКом	
Горкитское	ТЭО	466,0	15,0		
Гаринское	ТЭП	388,8	12,0	Комплексное использование недр в интересах территории	Расширение уральской сырьевой базы драгметаллов
Вагранская золоторудная площадь	ТЭП	25,54 ^{*)}	3,8	Ускоренная разведка с параллельной опытно-промышленной добычей	
Жижинско-Шаромское хромитовое	ТЭО, Пр	0,267	0,063	Добыча на 4 год с момента получения лицензии на изучение	Новый источник уральского хромитового сырья
Малышевское изумрудно-бериллиевое	ТЭП	9,1 ^{**)}	0,25	Доказана необходимость комплексной переработки и опережающей разведки	Возобновление добычи в т.ч. кристаллосырья
Кыштымское гранулированно го кварца	Пр	0,176	0,024	Сокращение общешахтных потерь в 1,7–1,9 раза	Возобновление работы подотрасли
Яны-Турьинское железорудное	ТЭП	19,2	0,8–1,0	Прикарьерная рудоподготовка с производством строительных материалов	Источник железорудного сырья в ХМАО

^{*)} – ресурсы P_2 ; ^{**)} – запасы 1 очереди.

металлов представлены 5 видами: отвалы вскрышных пород и некондиционных (забалансовых) руд, образовавшихся при разработке месторождений открытым способом; хвосты обогатительных фабрик (ОФ), заскладированные в непосредственной близости от самих ОФ; шлаки, сосредоточенные вблизи медеплавильных заводов; шламы нейтрализации шахтных вод; рудничные (шахтные и карьерные) воды. При этом из общего объема учтенных наиболее крупными предприятиями Уральского региона техногенных отходов горно-металлургической отрасли, насчитывающих почти 3 млрд. т (2,83 млрд. т на начало 2008 года) в переработку к настоящему времени вовлечено лишь 7,5 млн. т, что составляет 0,3%. Более интенсивное вовлечение техногенных месторождений в разработку позволит перейти к рациональному природопользованию с обеспечением взаимосвязей разных экологических и социально-экономических факторов и снижением негативного влияния последствий деятельности горнодобывающих и металлургических предприятий на окружающую среду.

Составлена первичная база данных по техногенным месторождениям (ТМ) Свердловской области не поставленным на учет, содержащая 194 наименования объектов (табл. 3). Выполнен прогноз отраслевых особенностей формирования ТМ в районах освоения минерального сырья Северного и Приполярного Урала. Установлено, что в перспективе преимущественное развитие могут получить ТМ от освоения руд цветных металлов, запасы которых выявлены вдоль всего восточного склона Уральских гор.

Произведена количественная оценка запасов металлов в техногенных образованиях Урала (табл. 4, 5). Приведенные данные позволяют утверждать, что даже вовлечение в переработку 30–40% отходов позволит снять ряд затруднений с обеспечением уральских металлургических заводов сырьем. При этом будет резко снижено техногенное давление на окружающую среду. Извлечение цветных и благородных металлов из отвалов, хвостов и шламо-хранилищ потребует детальной проработки каждого объекта с последующей оценкой ожидаемой прибыли.

Оценено количество тяжелых металлов, оставшихся в недрах после отработки месторождений по Уральскому региону, а также содержания полезных компонентов в общешахтных потерях отработки и его соответствия современным кондициям. Установлено, что с учетом проектных и сверхнормативных потерь после отработки месторождений в недрах осталось порядка 300–550 млн. т медной и медно-цинковой руды, т. е. не менее 3–5,5 млн. т меди и цинка, не считая благородных металлов. Наиболее привлекательной представляется отработка запасов, оставшихся в недрах за счет извлечения металлов, выносимых на поверхность с рудничными водами. Такой подход позволяет одновременно решить две задачи: обеспечение металлургическим сырьем и экологическую реабилитацию территорий.

Изучены экологические аспекты вовлечения в эксплуатацию техногенных источников сырья цветных металлов. Необходимость вовлечения в переработку техногенных образований в настоящее время диктуется как требованиями кардинального снижения их негативного воздействия на состояние окружающей среды, так и возможностью их повторной переработки с целью извлечения из них цветных и редких металлов, и тем самым обеспечения сырьем медеплавильных заводов.

Табл. 3. Общая характеристика техногенных объектов Свердловской области

Вид техногенно-минерального образования	Кол-во объектов	Кол-во накопленного сырья, тыс. т	Состояние объектов размещения отходов			
			рекультивированные	законсервированные	не рекультивированные	действующие
Вскрышные и вмещающие породы, карьеры	85	5 627 050,89	17	5	23	40
Отходы обогащения	19	6 681 305,27	2	1	5	11
Шлаки металлургические	18	597 084,65	1	0	2	15
Шламы металлургического передела	31	883 051,42	0	4	6	19
Пески	6	47 509,50	2	1	1	2
Прочее	35	31 433,86	1	4	2	28
ВСЕГО	194	13 867 435,59	23	15	41	115

Исследования, выполненные в целях поиска новых источников минеральных георесурсов, свидетельствуют о том, что дальнейшее освоение горнодобывающих районов Урала невозможно без реализации системы эффективного мониторинга комплексного освоения месторождений природного и техногенного сырья, а единая геоинформационная система горнодобывающих предприятий, а также резервных и разведываемых месторождений и рудопроявлений полезных ископаемых и техногенного сырья для территории Уральского федерального округа пока не создана.

Табл. 4. Запасы металлов в отвалах вскрышных пород основных предприятий цветной металлургии Южного Урала

Предприятие	Запасы, тыс. т			
	отходы	медь	цинк	сера
Бурибаевский рудник	7	0,13	0,49	2,8
Рудник Бакр-Тау	22	0,13	0,50	1,5
БСМК (Сибай)	440	1,21	2,64	65,1
Гайский ГОК	10 060	30,15	19,0	865,2
ВСЕГО	10 529	31,62	22,63	934,6

Табл. 5. Запасы металлов в отходах обогащения основных предприятий цветной металлургии Южного Урала

Предприятие	Запасы, тыс. т			
	Отходы	медь	цинк	сера
Бурибаевская ОФ	6 900	32,40	15,60	1 900,0
Карабашская ОФ	9 210	23,30	30,19	3 081,0
Сибайская ОФ	27 900	56,50	136,00	10 000
Учалинская ОФ	40 733	120,40	247,00	1 300,0
Гайская ОФ	39 810	123,37	124,86	6 592,1
ВСЕГО	124 553	355,97	553,65	22873,1

В рамках выполненного проекта разработана структура баз данных проблемно-ориентированной ГИС «Комплексное использование природного и техногенного сырья Урала», а также методика формирования специализированных баз данных, учитывающая показатели и параметры условий разработки природных и техногенных объектов (табл. 6).

В России и за рубежом эксплуатируются тематические геоинформационные системы (ГИС) разного целевого назначения. В США на базе ГИС реализованы: программа повышения эффективности управления и контроля за шахтами в Британской Колумбии, программа минимизации ущерба от остановленных и заброшенных угольных шахт и их рекультивации в штатах Пенсильвания и Кентукки, создан банк пространственных данных для управления ресурсным потенциалом крупнейшей золотодобывающей компании мира Barrick. Веб-интерфейс EnviroMapper агентства по охране окружающей среды США дает возможность получить любому пользователю оперативные данные мониторинга по состоянию элементов природной среды (вода, воздух, почвы) и техногенному воздействию (отходы, радиоактивность, токсичные вещества). Интерактивная геологическая карта мира масштаба примерно 1:100 000 доступна для использования на портале OneGeology.

Табл. 6. Структура баз данных ГИС-проекта «Комплексное освоение природного и техногенного сырья Урала»

М и н е р а л ь н ы е р е с у р с ы	Твердые полезные ископаемые	цветные металлы		запасы размеры степень освоения экологический риск
		черные металлы		
		благородные металлы		
		энергетические		
	Техногенно- минеральные образования	Отвалы	карьеры, шахты Обогащение ГРЭС Металлургия	запасы сырье перспективы переработки экологический риск
		шламохранилища		
		Шлакоотвалы		
	Подземные воды	Питьевые		запасы водоотбор качество
		Технические		
		Дренажные		

В России в рамках проекта управления водными ресурсами использование ГИС дает возможность любому пользователю получить оперативные гидрологические данные (уровни и расходы по рекам) по России или данные по водохозяйственному районированию. ГИС-атлас «Недра России» содержит геологические карты России масштаба до 1:500 000. ГИС «Минеральные ресурсы Магаданской области» содержит разнообразные сведения о геологическом и гидрографическом строении указанного региона.

С этих позиций предложенная геоинформационная система «Комплексное освоение природного и техногенного сырья Урала» является основой для оптимизации эксплуатации природных и техногенных месторождений Урала, выявления и ранжирования факторов и процессов, определяющих приоритетные направления и возможности освоения минерально-сырьевой базы Уральского региона, организации мониторинга и прогнозирования развития добычи, а также принятия решений в сфере управления природо- и недропользованием как на локальном (предприятие, холдинг), так и на региональном уровнях.

При построении пилотной версии ГИС сформирована геоинформационная база данных действующих горных предприятий Свердловской области, отработана методика построения геоинформационных моделей месторождения, а также методика построения и оценки зон техногенного воздействия на окружающую среду (санитарно-защитные, водоохранные, взрывоопасные зоны, геоинформационные данные об объектах и сетях и пр.), рис. 1.

Источниками данных для разработанной пилотной ГИС являются: геологические отчеты и карты разных масштабов и назначения; заключения различных служб, занимающихся сбором и обработкой данных по климату, сейсмологии, гидрологии, гидрогеологии, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и пр.; ежегодные планы работы действующих предприятий и их годовые отчеты; условия лицензирования каждого отдельного участка недр; пакет законодательных актов, регламентирующих деятельность горных предприятий; набор указаний, рекомендаций,

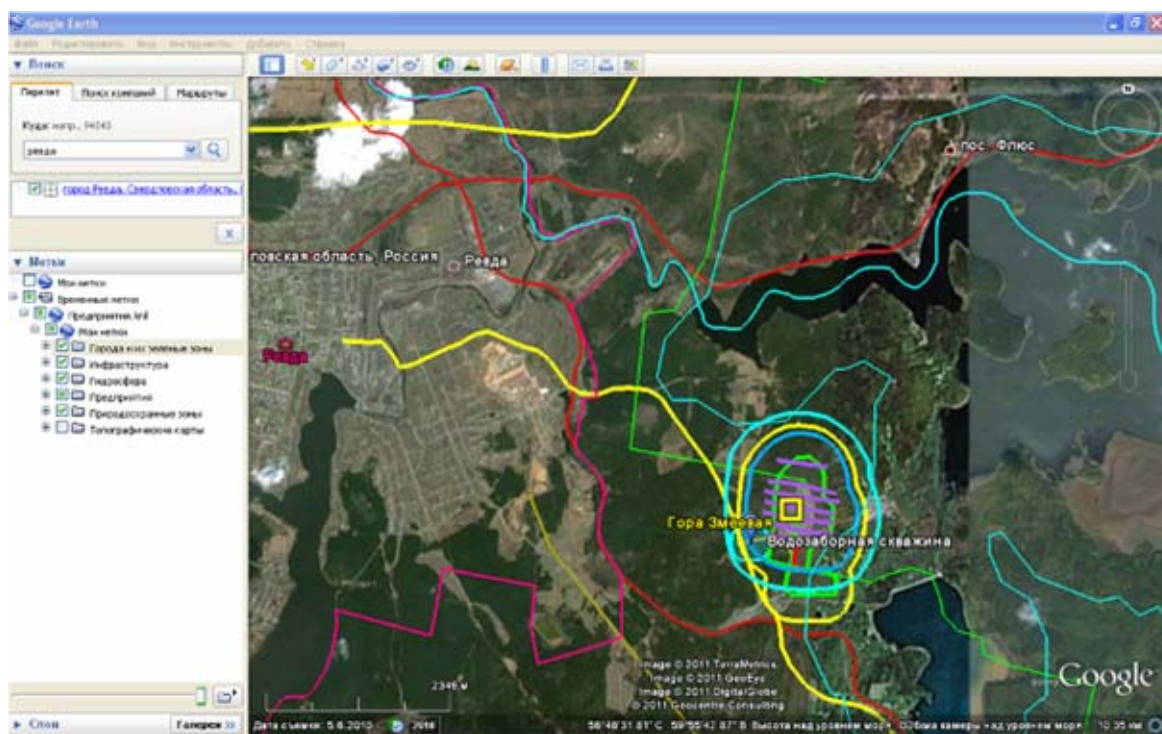


Рис. 1. Геоинформационная модель природоохранных и опасных зон при отработке месторождения Гора Змеявая.

СанПиН и СНиП, обеспечивающих упорядочение и безопасность работы горного производства.

ГИС построена на основе двух базовых блоков – геоинформационного и мультимедийного. Геоинформационный блок включает данные, которые могут быть охарактеризованы объектами с пространственно определенными границами, атрибутами и маркерами, присущими только этим границам (рис. 2). Мультимедийный блок данных предназначен для одновременного использования различных форм представления данных в виде текстов, таблиц, фотографий, иллюстраций, в т. ч. топографических карт, геологических разрезов, генеральных планов предприятия, видеоматериалов, интернет-ссылок и т. п.

Геоинформационный и мультимедийный блоки взаимодополняют друг друга, что обеспечивается системой перекрестных ссылок, и имеют возможность подключения к внешним источникам данных, в том числе и из сети Интернет.

Пилотная версия ГИС настроена на максимальное использование веб-сервисов, открытых кодов, облачных вычислений. В качестве отдельного средства визуализации и удобного справочника предусмотрено широкое использование программных средств Веб-ГИС Google Earth, которая позволяет послойно организовать и редактировать данные, экспортированные из широко используемых ГИС-форматов. Для хранения геоинформационных данных используется удобный в использовании язык разметки на основе XML для представления трёхмерных геоинформационных данных – KML (Keyhole Markup Language). Применение этого формата для хранения данных позволяет привлекать для пополнения базы данных, помимо внешних информационных ресурсов, сторонних разработчиков, в т. ч. и непрофессиональных, например, инициативные группы экологов. Возможности языка KML включать в описание объектов гиперссылки позволяет организовать интерактивное взаимодействие с блоком мультимедийных данных, а его открытость – произвести перенос данных на иную программную платформу. В качестве программной основы для работы с геоинформационными массивами выбрана система

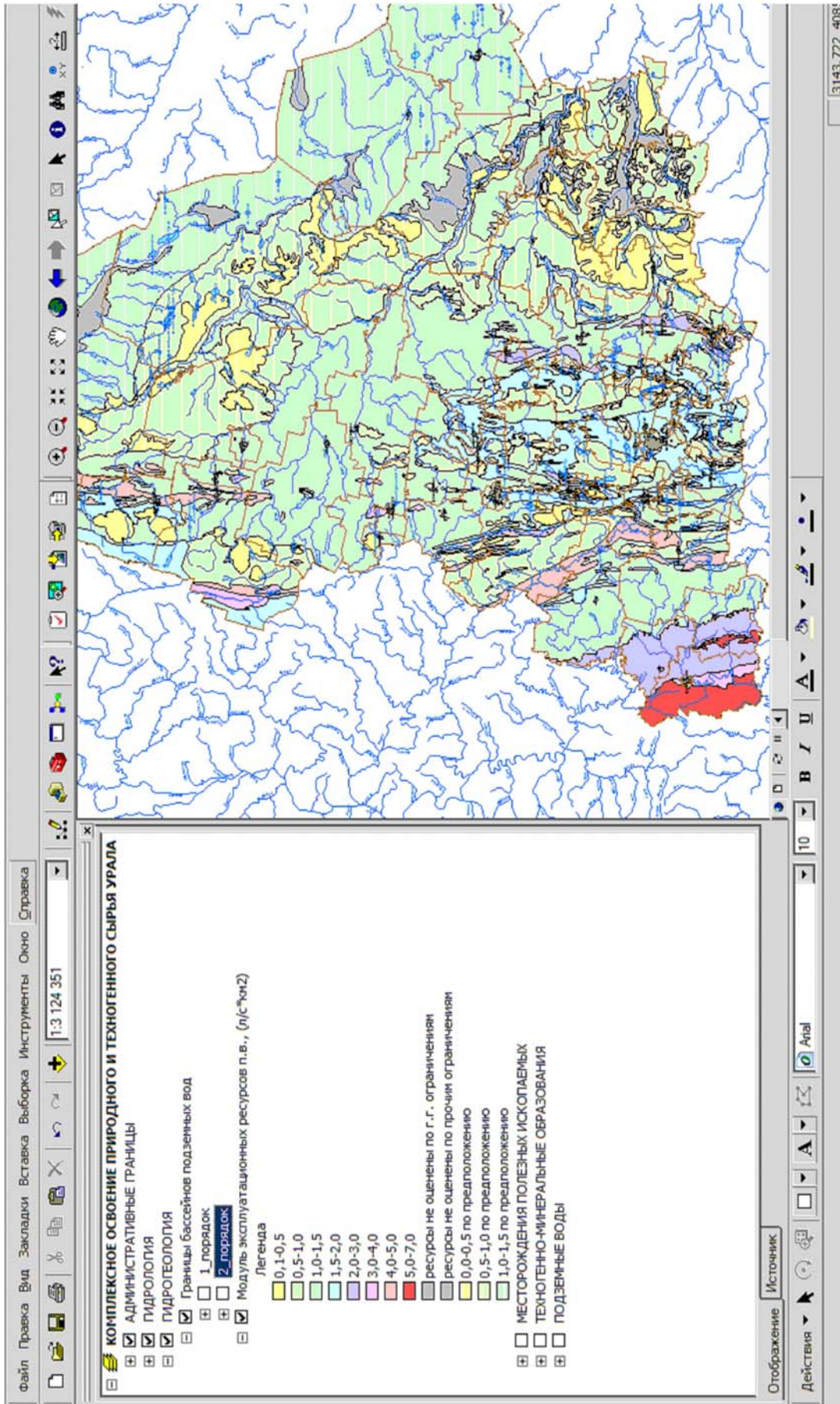


Рис. 2. Диалоговое окно ГИС-проекта с открытым слоем гидрогеология, модуль эксплуатационных ресурсов подземных вод.

ArcGis Desktop. Для накопления, актуализации и пополнения информационных массивов разработаны первичные инструкции по эксплуатации ГИС.

ГИС предназначена для формирования совокупности справочных, аналитических, экспертных и др. оценок при решении различных горно-технологических, социально-экономических, управленческих и экологических задач, а также прогноза последствий отработки месторождений, предупреждения возникновения и развития чрезвычайных ситуаций и пр. Использование ГИС в целях выработки общей стратегии освоения недр рассматриваемой территории уже на самых первых этапах разведочных работ обеспечит возможность выполнения поэтапных геолого-технологического-экономических оценок горно-технических возможностей каждого рудного района, которая позволит поэтапно уточнить и обосновать, в том числе, и объемы увязанных во времени разведочных работ, а также параметры первого и последующих этапов развития будущего предприятия, его ожидаемые возможности.

В процессе разработки пилотного проекта ГИС «Комплексное освоение природного и техногенного сырья Урала» были определены следующие перспективные направления ее развития:

1. Расширение круга решаемых задач – благодаря открытой структуре системы количество решаемых задач ограничивается только информационными возможностями базы данных.

2. Разработка комплексных междисциплинарных проектов – простота работы по редактированию, пополнению и расширению базы данных разработанной ГИС, а также прямой доступ к базе через Интернет позволяет привлекать для исследований в области оценки минерально-сырьевой базы и технологической подготовки горного производства широкий круг специалистов.

3. Создание аналитического аппарата – объединение геоинформационной и мультимедийной составляющей ГИС на единой платформе позволяет существенно развить теорию и методику системного геолого-технологического-экономического обоснования развития минерально-сырьевой базы страны и других комплексных оценок развития добывающих и перерабатывающих отраслей промышленности.

4. Усовершенствование поиска – необходимо продолжение и расширение исследований в области методики обработки, хранения и передачи геоданных, а также совершенствование систем их быстрого поиска и присоединения данных к ГИС.

5. Организация единого информационного центра – тенденция последнего десятилетия заключается в повсеместном переходе к использованию веб-сервисов, открытых кодов и пр., что влечет за собой необходимость создания объединенных геоинформационных сервисных служб МПР и институтов Отделения наук о Земле РАН.

В целях обоснования и разработки новых методов эффективного и экологически безопасного освоения природных и техногенных месторождений Урала предложены инновационные технологии добычи и переработки минерального сырья, способствующие энерго- и ресурсосбережению, обеспечивающие полноту, комплексность извлечения ценных компонентов и экологическую безопасность производства.

Разработан ресурсосберегающий способ вскрытия месторождений нагорного типа, при котором грузотранспортная связь рабочих горизонтов с отвалами вскрышных пород и приемными пунктами добываемого полезного ископаемого обеспечивается через породные перемычки. На примере Эльгинского месторождения коксующихся углей показано, что на режим горных работ наибольшее влияние оказывает соотношение мощности пластов полезного ископаемого и породных пропластков, а также углы склона косогора и наклона рабочего борта карьера, поэтому разработку таких месторождений на начальных этапах необходимо вести, начиная с более пологого склона, поддерживая при этом крутой угол откоса рабочего борта.

Доказано, что определяющим фактором процесса дробления и формирования развала являются разрушающие деформации, наведенные энергией взрыва скважинных зарядов в отбиваемой части массива. Выявлена взаимосвязь развития разрушающих деформаций с физико-механическими, структурными свойствами массивов горных пород, взрывчатыми характеристиками ВВ и основными параметрами буровзрывных работ. Предложенный пространственно-временной режим инициирования скважинных зарядов на открытых горных разработках существенно повысил технико-экономические показатели подготовки горной массы к выемке. Примененный для исследования взрывааемых массивов метод сейсмометрии позволил определять упругие свойства разрушаемых горных пород. Установлено, что реальные прочностные характеристики отличаются от показателей, определенных в процессе разведочного бурения, из-за влияния ранее произведенных взрывов, в результате которых массив горных пород нарушается. Исследованиями установлено, что учет снижения сопротивляемости массива горных пород разрушению под воздействием внешних нагрузок позволит снизить затраты на буровзрывной передел на 20–25%.

Для выделенных перспективных месторождений систематизированы существующие и прогнозные условия эксплуатации карьерного мобильного транспорта. Обоснованы направления совершенствования конструкций карьерных автосамосвалов, в соответствии с которыми для ряда специфических условий предлагается применять специализированные горно-транспортные средства, позволяющие достичь максимального эффекта (троллейвозный и троллейно-аккумуляторный транспорт, автосамосвал с комбинированной энергосиловой установкой, многозвенный автопоезд с троллейным питанием, гусеничный автосамосвал).

Разработана ресурсосберегающая технология дезинтеграции минерального сырья – грохочение на специальных перегрузочных пунктах с выделением руд с заданным фракционным составом. Такая технология рудоподготовки в определенных условиях позволяет снизить транспортные расходы на перевозку некондиции, мелочи и разубоживающих пород к местам переработки руды, а также снизить потери высококачественной руды непосредственно в карьере.

Выполнен прогноз развития перспективных технологий подземной разработки уральских месторождений на период до 2020 г. Установлены прогнозные (к 2020 г.) значения доли систем разработки с твердеющей закладкой (77%) и с обрушением (21%), существенно отличающиеся соотношением потерь и разубоживания при добыче. Разработана схема вскрытия, предусматривающая использование карьерного пространства для вскрытия запасов в бортах и под дном карьера штольнями и уклонами как при одновременном, так и последовательном ведении открытых и подземных работ. Схема позволяет на 5–10% снизить объемы горно-капитальных работ и уменьшить срок ввода в эксплуатацию рудника в 2 раза. Данная схема вскрытия успешно реализуется при доработке Молодежного медноколчеданного месторождения.

Предложена поэтажно-камерная система разработки, внедрение которой для разработки междурусного рудного целика Гайского месторождения в наибольшей степени соответствует принципам восходящей выемки, адаптированной к сложным условиям залегания рудного тела. Эффективность добычи достигается за счет снижения затрат на 5% и разубоживания на 6%.

Для последовательной комбинированной разработки в условиях Полярного Урала (месторождения типа Рай-Изского) обоснован ресурсосберегающий способ этажного принудительного обрушения с одностадийной выемкой, заключающийся в отбойке руды в зажатой среде и площадном выпуске на траншейное днище под рудной предохранительной подушкой.

Предложена классификация вариантов вскрытия подземных запасов при комбинированной разработке месторождения. В основу разделения на классы положено свойство, характеризующее способ вскрытия – тип главных вскрывающих выработок, на

группы – принято свойство, характеризующее схему вскрытия – место заложения главных вскрываемых выработок: дневная поверхность или карьер. Разделение на варианты внутри групп производится по типу вспомогательных вскрываемых выработок.

На основе предложенной классификации по-новому решен вопрос вскрытия, подготовки и отработки прибортовых и подкарьерных запасов для условий комбинированной разработки месторождения «Удачное» в этаже –260/–365 м за счет вскрытия из карьера и применения системы с обрушением. Разработанная технология позволяет вовлечь в подземную разработку запасы в рудных целиках, оставленных в результате ведения ОГР, отказаться от проведения значительного количества вскрываемых выработок по породе на гор. –320 м, достичь проектную производственную мощность 4,0 млн. т в год в 2017 г. и обеспечить ритмичную работу 1 очереди рудника АК «Алроса».

Выявлен механизм выщелачивания отходов обогащения сульфидных руд и кусковых некондиционных отходов в отвалах минерализованными рудничными водами. Натурными наблюдениями показано (Урал, Норильск и пр.), что обработка твердых (хвосты обогащения и т.п.) отходов разработки сульфидных месторождений жидкими (металлосодержащие рудничные воды) обеспечивает получение концентрированных растворов – жидких руд, пригодных для гидрометаллургической переработки с превышением промышленного содержания меди и цинка от 50 до 10000 и 3460 мг/л, т. е. в 200 и 69 раз соответственно. Инновационность разрабатываемого направления обеспечивается интенсификацией процесса выщелачивания сырья теплом недр Земли, утилизацией кислоты и металлов, содержащихся в рудничных водах, с исключением затрат энергии из коммерческих источников.

Разработанный способ подземного выщелачивания сульфидсодержащих материалов с использованием металлосодержащих рудничных вод характеризуется тем, что перед орошением сульфидсодержащих отходов проводят их закладку в подземные пустоты отработанных горных выработок и выщелачивающий раствор нагревают теплом недр Земли, что повышает степень извлечения (извлечение меди на 15%) металла из недр, снижаются затраты на выщелачивание (до 20%) и радикально уменьшается отчуждение земель под хранилища отходов. Новизна результатов исследований охраняется патентом РФ №2385956С22В3/04, С22В15/00 «Способ подземного выщелачивания сульфидсодержащих материалов» Ю. В. Волков, Ф. Ф. Борисков, И. В. Соколов и др.; патентообладатель Институт горного дела УрО РАН // №2009119083, заявл. 2009 г., опубл. 2010 г. – ВИПИМ-№6 (II ч.) – с.478.П и заявкой на изобретение РФ № 2009143040 «Способ подземного выщелачивания сырья», 2009 г.

В качестве перспектив необходимо выделить направления дальнейших исследований в области:

- ▲ научного обоснования технологий раздельной добычи и переработки, в т. ч. плавки, выделенных типов титано-магнетитовых руд (ванадистые, титанистые, рядовые), обеспечивающих повышение извлечения железа, титана и ванадия в металл с существенным расширением уральской железорудной базы и модернизацией металлургического передела;
- ▲ научного обоснования параметров добычи и комплексной переработки бедных меднопорфировых и сульфидных месторождений и на этой основе – переоценки минерально-сырьевой базы России меди, в т. ч. Уральского региона;
- ▲ дальнего развития методов и средств геоинформационного моделирования как основы комплексных геолого-технологического-эколого-экономических прогнозов и оценок;
- ▲ разработки инновационных технологий эффективной переработки и утилизации техногенных минеральных образований как значительного резерва, расширяющего минеральную базу России.

Список патентов, основных научных работ, докладов, публичных выступлений, выполненных в ходе выполнения проекта

Патенты

1. Патент РФ № 2385956 С 22 В 3/04, С 22 В 15/00 «Способ подземного выщелачивания сульфидсодержащих материалов»/Ю. В. Волков, Ф. Ф. Борисков, И. В. Соколов и другие; патентообладатель: Институт горного дела УрО РАН // № 2009119083 заявл. 2009, опубл. 2010. – БИПМ – № 6 (II ч.) – С. 478.

В журналах перечня ВАК

2. *Корнилков С. В.* Об основных положениях методики экспресс-оценки главных параметров и технологий горнодобывающего предприятия // ГИАБ. 2010. С. 34–45.
3. *Саканцев Г. Г.* Зависимость эффективности внутреннего отвалообразования от максимально допустимой высоты отвальных ярусов при разработке глубокозалегающих месторождений ограниченной длины // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 1. С. 40–45.
4. *Волков Ю. В., Соколов И. В., Смирнов А. А., Антипин Ю. Г.* Методика определения эффективных соотношений потерь и разубоживания при этажно-камерной системе разработки с предо-хранительными целиками // Изв. вузов. Горный журнал. 2009. №2. С. 4–7.
5. *Волков Ю. В., Соколов И. В., Смирнов А. А.* Обоснование технологии отработки прибортовых запасов с использованием наклонных выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 1. С. 10–12.
6. *Волков Ю. В., Соколов И. В., Смирнов А. А.* Разработка крутопадающих рудных тел под дном карьера системами с обрушением // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 2. С. 60–64.
7. *Соколов И. В., Смирнов А. А., Антипин Ю. Г., Кульминский А. С.* Отработка подкарьерных запасов трубки «Удачная» в сложных климатических, горно- и гидрогеологических условиях // Горный журнал. 2011. №1. С. 63–66.

В других изданиях

8. *Яковлев В. Л.* О роли прогноза геологических, технологических и социально-экономических условий освоения месторождений в обеспечении устойчивого инновационного развития горного производства // Проблемы и пути эффективной отработки алмазоносных месторождений: сборник докладов международ. научно-практ. конф., Мирный, 2011 / ЯКУТНИПРОАЛМАЗ 1961–2011. Новосибирск: Наука. 2011. С. 73–79.
9. *Артемов Э. П., Рождественский В. Н.* Влияние пространственно-временных параметров ведения взрывных работ на качество подготовки горной массы на карьерах // Научно-техническое обеспечение горного производства. Т. 77 / ИГД им. Д. А. Кунаева. – Алма-Аты. 2009. С. 74–80.
10. *Соколов И. В., Смирнов А. А., Антипин Ю. Г., Барановский К. В., Никитин И. В.* Вскрытие и технология совместной отработки прибортовых и подкарьерных запасов трубки «Удачная» // Проблемы и пути эффективной отработки алмазоносных месторождений: Международная научно-практ. конф. г. Мирный, 2011:Новосибирск: Наука. 2011. – С. 148–153.
11. *Лантев Ю. В., Титов Р. С.* Предобогачение руды в карьере // Развитие идей Н. В. Мельникова в области комплексного освоения недр: докл. к 100-летию со дня рождения академика Н. В. Мельникова – г. Москва: ИПКОН РАН, 2009.

12. *Лантев Ю. В., Титов Р. С.* Техническая оптимизация готовых к выемке запасов горного предприятия // Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр – Екатеринбург, 2009. Сб. науч. тр./ИГД УрО РАН. – Вып. 5 (95).
13. *Лантев Ю. В., Титов Р. С.* Предобогачение руд и техногенного сырья с оптимальными параметрами грохотильно-перегрузочных складов // Конференция с международным участием «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья» докл. – г. Екатеринбург: УГГУ, 2010 – 365 с.
14. *Борисков Ф. Ф.* Воспроизводство георесурсов автогенными и импульсными геотехнологиями // V Международ. Конфер. Комбинированная геотехнология: Комплексное освоение и сохранение недр земли: материалы международной научно-технической конференции, г. Екатеринбург, 2009: Сб. трудов. – Магнитогорск: МГТУ. 2009. С. 126–129.
15. *Борисков Ф. Ф.* Получение гидроминерального сырья комплексной переработкой отходов разработки сульфидных месторождений // Матер. Междунар. науч.-техн. конф. «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть». 2010. С. 247–251.
16. *Борисков Ф. Ф., Антонинова Н. Ю.* Интенсификация переработки сырья автогенной электроэнергией, генерируемой электрохимическими устройствами «электроды – сырье в ионогенном растворе» // Матер. Междунар. науч.-техн. конф. «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», Екатеринбург: Изд-во «Форт Диалог-Исеть». 2010. С. 254–258.
17. *Антонинова Н. Ю., Борисков Ф. Ф.* Переработка отходов кучного выщелачивания золота с использованием природного холода // Проблемы недропользования. Материалы III Всероссийской молодежной научно-практической конференции, 10–13 февраля 2009 г. – Екатеринбург: УрО РАН. 2009. С. 72–75.
18. *Коноров М. М., Чайкина Г. М., Антонинова Н. Ю.* Рекультивация хвостохранилищ железорудных и меднорудных предприятий на Урале // Proceedings of the Xth Jubilee National Conference with International Participation of the Open and Underwater Mining of Minerals – Varna, Bulgaria – 07–11 июня 2009. С. 501–506.
19. *Фельдман А. Л., Л. С. Рыбникова, П. А. Рыбников* Изменение ресурсов подземных вод в горнодобывающих районах при отработке и ликвидации рудников // Ресурсы подземных вод: Современные проблемы изучения и использования: Материалы международной научной конференции. Москва, 13–14 мая 2010 г.: К 100-летию со дня рождения Бориса Ивановича Куделина. - М.:МАКС Пресс. 2010. С. 200–205.
20. *Чайкина Г. М.* Ресурсный потенциал предприятий Уральского федерального округа и проблемы землепользования // Г. М. Чайкина, Н. Ю. Антонинова // Мат-лы между. конф. «Государственное регулирование и стратегическое партнерство в горно-металлургическом комплексе», 23 апреля 2009 г. Екатеринбург, 2009. Ин-т экономики УрО РАН. С. 82–88.

Статья подготовлена по результатам работ по проекту 2.2.3 Программы Президиума РАН № 14–23–24 «Научные основы инновационных энергоресурсосберегающих экологически безопасных технологий оценки и освоения природных и техногенных ресурсов» (координаторы: ак. Леонтьев Л. И., ак. Рундквист Д. В.), 2009–2011 гг.

Использованные информационные ресурсы

1. <http://www.slb.ru/sis/item254>,
<http://www.dataplus.ru/Industries/4NEDRA/index.asp?theLink=1>
2. <http://www.esri.com/library/bestpractices/forest-carbon-management.pdf>
3. <http://www.esri.com/news/arcnews/fall10articles/irish-agricultural.html>

4. <http://www.esri.com/news/arcuser/1104/minesonline.html>
5. <http://www.esri.com/news/arcuser/0610/barrickgold.html>
6. <http://www.esri.com/news/arcwatch/1008/mine-reclamation.html>)
7. <http://www.esri.com/news/arcwatch/1007/kentucky-mines.html>
8. <http://77.108.74.231/Hydroposts/default.aspx>
9. http://195.216.244.121/gis/Default_vhr.aspx
10. http://www.epa.gov/enviro/html/em/em_aboutem.html
11. <http://portal.onegeology.org/>
12. <http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/>
13. <http://gis-lab.info/qa/webgis.html>
14. <http://www.slb.ru/sis/item254>
15. <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgisserver/cloud.html>
16. <http://gis-lab.info/qa/os-gis.html>
17. <http://gis-lab.info/qa/os-gis.html>