

В.И. Ляшенко, В.И. Голик

НАУЧНОЕ И КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ РАЗВИТИЯ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА. ДОСТИЖЕНИЯ И ЗАДАЧИ

Приведены основные научные и практические результаты научного и конструкторско-технологического сопровождения развития уранового производства, создания и внедрения природо- и ресурсосберегающих технологий и технических средств, обеспечивающих повышение охраны окружающей среды и рациональное использование недр, а также экономическую, экологическую и социальную эффективность разработки урановых месторождений, безопасность жизнедеятельности населения в уранодобывающих регионах. Разработана и внедрена система наблюдений за напряженным состоянием горного массива на горно-добывающих предприятиях (геомеханический и сейсмический мониторинги). Изложена технология добычи урана подземным выщелачиванием, которая внедрена на пластовых и испытана на скальных месторождениях Украины. Описаны новые технологии и средства для закрепления пылящих поверхностей в кюветах с хвостами: химическое закрепление; обработанными окатышами (гранулами) на основе грунтосмесей; специально подготовленным составом. Показана эффективность горной технологии, которая при сравнении вариантов разработки определяется с учетом затрат на всех переделах и защиту населения, проживающего в зоне влияния горных объектов по критерию сохранности земной поверхности и создание экологического и радиационного мониторингов.

Ключевые слова: урановое производство, системы разработки, вибрационная техника, буровзрывные работы, геотехнология, охрана окружающей среды.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-137-152

Актуальность проблемы

Подземная разработка урановых месторождений характеризуется ухудшением горно-геологических и горнотехнических условий, повышением требований к охране окружающей среды и недр, безопасности жизнедеятельности человека в зоне влияния горных объектов. Нейтрализация этого влияния достигается за счет применения различных вариантов камерных систем разработки с закладкой выработанного пространства различного состава и прочности, включая отходы горного и горно-металлургического произ-

водств. Недостатки данных систем — высокая стоимость смесей, в том числе вяжущего, достигающая 25—60% стоимости закладки. Значительная доля трудозатрат по системе разработки, достигающая 50%, приходится на подготовку блоков к очистной выемке, около 30% — на бурение и отбойку руды, примерно 15% — на выпуск и погрузку руды (в работе принимали участие Р.Ш. Азимов, М.Н. Слепцов, Ю.Я. Савельев, А.Н. Разумов, Ю.В. Трифонов, В.Н. Листов, А.Х. Дудченко, И.К. Поддубный, П.И. Рягузов, В.М. Зельниченко, А.А. Ткаченко, А.Г. Скотаренко и др.).

Применение в таких условиях камерных систем разработки с закладкой сопровождается повышенными показателями разубоживания за счет совместной отбойки внутри- и междурудных включений пород, забалансовых, по содержанию полезных компонентов, руд и безрудных участков, наличия обособленных от основных рудных тел ответвлений, апофиз, гнезд и линз (разубоживание достигает 30–32%; потери — 4–5%, а по отдельным эксплуатационным блокам и выше). Поэтому развитие уранового производства на основе научного и конструкторско-технологического его сопровождения, создания и внедрения природо- и ресурсосберегающих технологий и технических средств, обеспечивающих повышение охраны окружающей среды и рациональное использование недр, а также экономическую, экологическую и социальную эффективность разработки урановых месторождений, безопасность жизнедеятельности населения в уранодобывающих регионах, — вот те важные, имеющие научное и практическое значение задачи, требующие неотлагательного решения [1–7].

Ниже приводятся основные научные и практические результаты, полученные в ходе научного, конструкторско-технологического сопровождения развития уранового производства Украины и СНГ, разработанные специалистами ГП «УкрНИПИИ-промтехнологии», которому в 2015 г. исполняется 45 лет. Составной частью его деятельности является отраслевая наука, которая формировалась для научного сопровождения уранодобывающего и перерабатывающего производств вначале СССР, а начиная с 1992 г. — Украины.

Методы исследований

Комплексный, включающий — анализ ранее выполненных исследований и контрольных наблюдений, математическое и физическое моделирование,

анализ и статистическая обработка результатов, установление зависимостей, выполнение расчетов и обоснований, шахтные и экспериментальные исследования, натурные измерения по стандартным методикам.

Обсуждение результатов исследований

В Украине единственным центром по добыче и первичной переработке уранового сырья является государственное предприятие «Восточный горно-обогатительный комбинат» (ГП «ВостГОК»), которому в августе 2016 г. исполнилось 65 лет. Научное, конструкторско-технологическое сопровождение развития уранового производства осуществляет государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательный институт промышленной технологии» (ГП «УкрНИПИпромтехнологии»), которому в 2016 г. исполнилось 46 лет, а научно-производственное обеспечение — научно-производственный комплекс «Автоматика и машиностроение» (НПК «А и М») совместно с ремонтно-механическим заводом (РМЗ). Ниже приведены основные научные и практические результаты, полученные при обосновании природо- и ресурсосберегающих технологий и технических средств, в соответствии с научными программами отрасли и с участием автора по следующим основным направлениям [8, 9].

Горная технология

Разработки, выполненные под научным руководством докторов техн. наук, профессоров В.Н. Мосинца и М.Н. Слепцова, позволили осуществить ряд новых технических решений, включающих отработку урановых месторождений системой подэтажных штреков (ортов) с заполнением выработанного пространства твердеющей песчано-шлаковой закладкой; совместную отработку место-

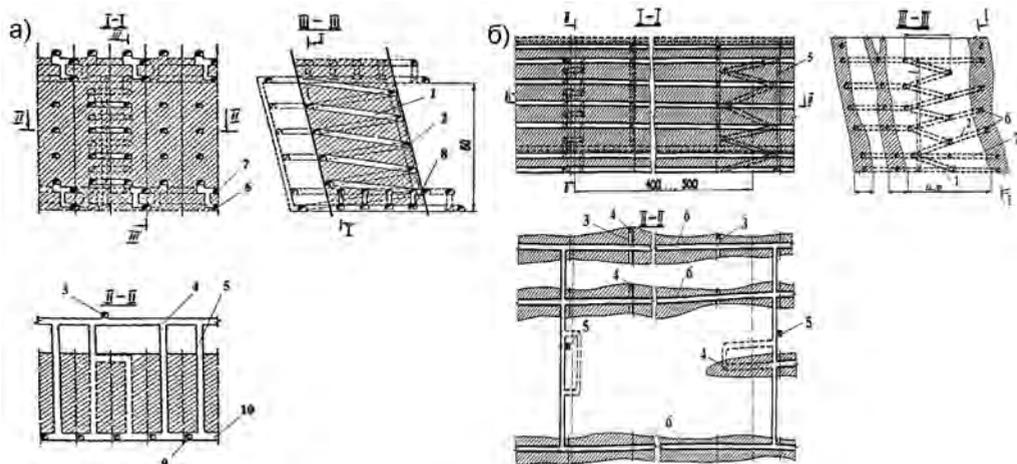


Рис. 1. Групповая (централизованная) подготовка и нарезка блоков из наклонного съезда: рудного (а): 1, 2 — соответственно, ветвь спирали ортовая и штрековая; 3 — восстающий; 4 — породный подэтажный штрек; 5 — подэтажные буровые орты; 6 — орт-заезд; 7 — орт горизонта вторичного дробления; 8 — дучки; 9, 10 — соответственно, отрезной восстающий и штрек; породного (б): 1 — выработки спирали; 2 — наклонные выработки, соединяющие залежи; 3 — отрезные орты; 4 — отрезные восстающие; 5 — рудоспуск; 6, 7 — соответственно, подэтажные буровые и хозяйственные выработки

рождений на один комплекс по выдаче горной массы, внедрить централизованную подготовку и нарезку группы залежей из наклонных съездов, пройденных по породе и руде, отработку камерами под рекой, параметры буровзрывных работ на очистной выемке и проходке горных выработок, твердеющую закладку различного состава и прочности с использованием местных низкосортных песков (рис. 1).

Для обеспечения безопасности горных работ в зоне влияния пустот отработанных камер выполнено: прогноз напряженно-деформированного состояния (НДС) горного массива и оценка условий динамического проявления горного давления; организация системы геомеханического мониторинга за НДС горного массива и устойчивостью обнажений камер; оснащение шахт аппаратурой и приборами для проведения геомеханического и сейсмического мониторингов; обучение персонала шахт проведению наблюдений и контроля НДС горного массива.

Исходные данные по твердеющей закладке

Устойчивость горизонтальных и вертикальных обнажений закладки находится в прямой зависимости от качества закладочной смеси, времени твердения и монолитности. Прочность контакта порода — закладка на изгиб и растяжение равна прочности закладки по этим показателям. Угол внутреннего трения (ρ) принят 32° . Монолитность закладки зависит от степени расслоения смеси в перерывах при закладке камер. Изменение соотношения составляющих компонентов в расслоившейся части закладки уменьшает более чем на $1/3$ расчетные прочностные свойства. При определении предельного эквивалентного пролета горизонтального обнажения высота монолитного слоя закладки, под который непосредственно выходят нижележащие камеры должна быть не менее 4 м. На эту высоту камеры необходимо закладывать без перерывов в работе закладочной установки, при придании закладке в нижней ее части плоской или сводчатой

формы. Поверхность отбитой руды перед закладкой камеры должна быть выровнена за счет регулирования выпуска руды.

Определение основных параметров камер

Оценкой устойчивости обнажений руды, вмещающих пород и закладки является допустимый эквивалентный пролет. Допустимый эквивалентный пролет горизонтального и вертикального обнажения закладки определяется согласно формул [7, 10]:

$$L_{\text{ЭКВ}}^Г = \sqrt{\frac{2\sigma_{\text{из}} \cdot h_{\text{СЛ}}}{\gamma_3 \cdot K_3}}, \text{ м}; \quad (1)$$

$$L_{\text{ЭКВ}}^В = \frac{2C_M}{\gamma_3 \cdot K_3} \text{ctg}(45^\circ + \frac{\rho}{2}), \text{ м}, \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{из}}$ — предел прочности закладки на изгиб, т/м²; $h_{\text{СЛ}} = 4$ — толщина нижнего монолитного слоя закладки, м; γ_3 — плотность закладки, т/м³; K_3 — коэффициент запаса, ед. (по данным практического внедрения предложенной методологии в течение 35 лет K_3 изменялся от 1,5 до 2,5); C_M — коэффициент сцепления, т/м²; $\rho = 32^\circ$ — угол внутреннего трения, град.

Устойчивость обнажений с вероятностью 0,023—0,067 обеспечивается при условии $L_{\text{ЭКВ}} \leq L_{\text{ДОП}}$. Здесь $L_{\text{ДОП}}$ — допустимый пролет обнажения, м. Пустоты отработанных камер не оказывают влияния на дневную поверхность при условии $H_r > H_p$. Здесь H_r — глубина расположения кровли пустот, м; H_p — расчетная высота зоны опасных сдвижений, м. Геометрические параметры камер длина (а), ширина (в) и высота (H), а также величины эквивалентного горизонтального и вертикального пролетов, обеспечивающие устойчивость закладочного массива находятся по известным зависимостям [12, 13].

В первичных камерах допустимый эквивалентный пролет обнажений зависит от крепости вмещающих пород руды и глубины разработки. Эквивалентный

пролет горизонтального обнажения при мощности рудных тел до 3 м и прочности закладки на сжатие более 3,0 МПа может быть не ограниченной длины. Геометрические параметры системы разработки подэтажных штреков для рудных залежей с горизонтальной мощностью до 15 м, когда длина камеры по простиранию в 2—3 раза и более превышает ширину (мощность), приводятся ниже.

Для условий защемления по периметру неправильной (отличной от прямоугольной) формы эквивалентный пролет определяется согласно формуле:

$$L_{\text{ЭКВ}} = 2,5 \cdot S / P_o, \quad (3)$$

где S — площадь обнажения, м²; P_o — длина опорного периметра, м.

Критерий устойчивого состояния прирывающей к обнажению краевой части массива горных пород определяется согласно формуле:

$$L_{\text{ЭКВ}} \leq L_{\text{ДОП}} = L_{\text{ЭО}} / 1,1, \quad (4)$$

где $L_{\text{ЭО}}$ — предельный перед массовым обрушением горных пород (объемом более 250 м³) определенный опытным путем, м; $L_{\text{ЭДОП}}$ — предельно-допустимый пролет обнажения выработки бесконечной длины, м.

По известным величинам эквивалентного пролета определяется длина и ширина обнажения из выражений:

$$a = \frac{b}{\sqrt{\left(\frac{b}{L_{\text{ЭКВ}}}\right)^2 - 1}}; \quad b = \frac{a}{\sqrt{\left(\frac{a}{L_{\text{ЭКВ}}}\right)^2 - 1}}. \quad (5)$$

Предельно-допустимый эквивалентный пролет обнажения определяется по зависимостям, установленным статистической обработкой шахтных наблюдений, учитывающих все влияющие факторы.

Влияние времени отработки и закладки камер на устойчивость обнажений

Большое значение для устойчивости обнажений массива имеет интенсив-

ность отработки и закладки камер. Проведенные исследования показали, что величина устойчивого эквивалентного пролета обнажения ($l_{\text{экр}}$) и время его существования (t) находятся по зависимости: $L^2_{\text{экр}} t = \text{const}$. Для камер, выходящих под заложенное пространство, значение временного коэффициента изменяется от 0,76 до 1,10, а для выходящих под рудный массив — от 0,92 до 1,23. Повышение интенсивности работ в 2–3 раза позволили снизить нормативную прочность твердеющей закладки с 8,5 до 3,5 МПа, в 1,5–2 раза сократить расходы вяжущего, использовать низкосортные пески и отходы горно-обогатительного производства. В результате решена проблема дефицита инертных заполнителей и на 30–50% снижена себестоимость закладочных работ.

Количественные параметры сейсмического действия взрыва для конкретных горно-геологических условий урановых шахт устанавливаются на основании закономерностей распространения сейсмозрывных колебаний в различных средах. С этой целью были проведены инструментальные замеры сейсмического действия взрыва веерных скважинных зарядов для камерных систем разработки с закладкой выработанного

пространства при отработке месторождений под городской застройкой (поселки Большая Балка и Кизельгур, Украина) и под водным объектом (р. Ингул, Украина) (рис. 2).

Буровзрывные работы

Исследования проводились по обоснованию параметров буровзрывных работ для камерных систем разработки с закладкой выработанного пространства твердеющей смесью различного состава и прочности от 3,0 до 7,5 МПа. Обоснованы диаметр скважин, типы взрывчатых веществ и зарядного устройства. Дана оценка сейсмического действия взрыва на конструктивные элементы систем разработки, стандартизированы параметры буровзрывных работ при отработке урановых месторождений Украины. В частности, составлен и введен в действие стандарт предприятия СТП — «Система разработки подэтажными штреками (ортами) с закладкой выработанного пространства твердеющей смесью. Буровые и взрывные работы. Параметры и размеры». Настоящий стандарт внедрен на горных предприятиях ГП «ВостГОК» и успешно используется специалистами технологических и геолого-маркшейдерских служб. При этом сохранены поверхност-

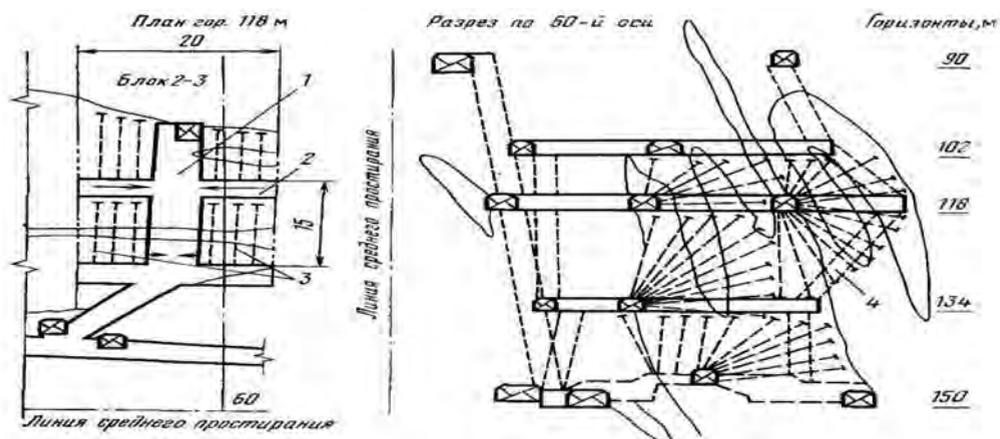


Рис. 2. Технология отбойки с встречным взрыванием зарядов скважин: 1 — отрезная щель, 2 — буровые выработки, 3 — веера скважин, 4 — отрезной восстающий

ные объекты и жилые дома при отработке урановых залежей под рекой «Ингул» и под жилой застройкой г. Кировограда (Украина) [10, 12, 13].

Освоены вскрытие месторождений этажами повышенной высоты и на один концентрационный горизонт, проходка промежуточных горизонтов с помощью самоходной техники, применение участковых спиральных съездов, централизованных или групповых схем подготовки блоков, запроектирована каскадная отработка новых урановых месторождений. Это способствовало не только росту производительности труда, концентрации и интенсификации подземных работ, но и значительному снижению выхода пустых пород от проходки горных выработок, уменьшению отчуждения земель под отвалы пустых пород. Широко известны пионерные решения в освоении технологии приготовления закладочных смесей, контроле за ее качеством, режимом транспортирования и формированием закладочного массива.

Разработана и внедрена система наблюдений за напряженным состоянием горного массива на горнодобывающих предприятиях (геомеханический мониторинг) посредством звукометрических, маркшейдерских и оптических приборов, струнных тензометров, глубинных и грунтовых реперов, электрических цепей, визуальных наблюдений и косвенных методов по изменению минерализации шахтной воды (подречной целик реки «Ингул»), нашедших применение при подземной разработке урановых и других месторождений сложной структуры.

На основании проведенных инструментальных измерений и визуального осмотра недозаложенных эксплуатационных блоков установлено, что опасности обрушения горных пород в подземные пустоты нет, камеры блоков и горный массив находятся в устойчивом состоянии. При этом, подземные пусто-

ты, независимо от их размеров, должны быть локализованы от действующих выработок защитными сооружениями (перемычками). Толщина бетонной перемишки должна быть не менее 0,8 м, а породной — с расширительной камерой на уровне кровли выработки не менее 2,0 м. В камерах блоков, где зафиксировано обрушение пород должен вестись звукометрический контроль за напряженным состоянием горного массива, для чего необходимо установить наблюдательные станции. Место установки датчика (пункта наблюдательной станции) и периодичность наблюдений определяется проектом, с учетом развития горных работ. Время фиксации акустических импульсов целесообразно выбирать в междусменный перерыв или в выходные дни, когда в шахте не проводятся работы, создающие дополнительные источники колебаний в горном массиве.

Повышение эффективности производства буровых работ на шахтах обеспечивается применением высокопроизводительной буровой техники нового поколения: установки буровые колонковые УБГ, малогабаритная электрогидравлическая буровая установка УБШ-1ГЛ, станок буровой самоходный БУ-85С, установки буровые шахтные типа УБШ-201-А и УБШ-203, расширитель скважин РС-220, измерители глубины взрывных шпуров и скважин ИГС и угла заложения их в веере ИУС-1, разработанные специалистами отрасли, а также ведущими научными центрами (разработанные НПК «А и М» и изготовленные совместно с РМЗ ГП «ВостГОК») и др.

Оборудование для зарядания и взрывания зарядов взрывчатого вещества типа: МЗП-1; УЗП-2А; УЗП-3; машина зарядная УТЗ-2; взрывной прибор ВП-100; прибор для контроля взрывной цепи в забое ИВС-1; блок питания БП-103 (разработанные НПК «А и М» и изготовленные совместно с РМЗ ГП «ВостГОК») и др.

Эмульсионные ВВ типа Украинит-ПП-2 заряжают переносным малогабаритным зарядчиком типа ЗЭП-15 и зарядчиком самоходным (шпуровым) мод. ЗЭВС-1 (разработчик и изготовитель НТО «Техно-трон», ООО «Экком» и др.).

Для механизации вспомогательных технологических процессов: транспортировки горючесмазочных материалов, узлов машин; обустройства внутришахтных дорог и выполнения различных грузоподъемных операций в шахтах, используются дизельные машины типа: установка лифт-подъемная шахтная УПГЛ-М, лифт шахтный ЛМШ-1, машины МВН-1ДШМ, МВН-2ДШ и транспортная тележка ТШ-1М, устройство расточное, установка для чистки и смазки канатов ЧК-М, нагнетатель НПШ-1 (разработанные НПК «А и М» и изготовленные совместно с РМЗ ГП «ВостГОК») и др.

Применяется также самоходное буровое, погрузочно-доставочное и вспомогательное оборудование фирм «Atlas Сорсо», «Татриск» и др.

Геотехнология добычи урана

Впервые в бывшем Советском Союзе согласно рекомендациям институтов

«ПромНИИ-проект» (г. Москва) и его Украинского филиала (г. Желтые Воды), «ВНИИХТ» (г. Москва) внедрена технология добычи урана подземным выщелачиванием на пластовых месторождениях Украины [14, 15, 17].

Участок подземного выщелачивания «Девладово» ГП «ВостГОК» находился в эксплуатации с 1956 по 1983 г. Месторождение вскрывается системой скважин, располагаемых рядами, многоугольниками, кольцами (рис. 3).

В скважины подают растворитель, который, фильтруясь по залежи, выщелачивает полезные компоненты и затем откачивается через другие скважины. Конструкция скважин для ПВ проста (см. рис. 3, б). Общая площадь 2350 тыс. м². Месторождение относится к юго-западной части Приднепровского блока Украинского кристаллического щита. В 16 км к западу от площадки подземного выщелачивания протекает р. Саксагань, а в 4 км на восток — р. Камянка.

В результате отработки месторождения урана с 1959 по 1983 гг., подземные воды продуктивного горизонта, размещенные в бучакской свите, оказались загрязненными остаточными раствора-

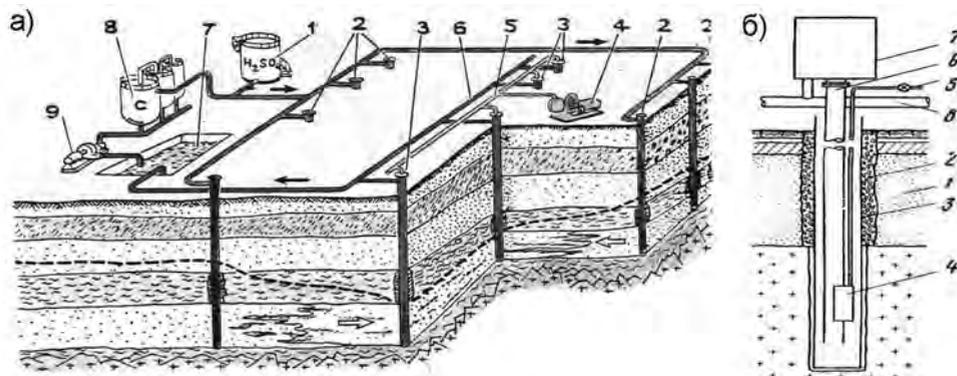


Рис. 3. Схема отработки пластового месторождения выщелачиванием через скважины (а): 1 — узел приготовления раствора; 2 — нагнетательная скважина; 3 — дренажная скважина; 4 — компрессор; 5 — воздухопровод для эрлифта; 6 — коллектор для продуктивного раствора; 7 — отстойник; 8 — установка для переработки раствора; 9 — насос; конструкция дренажных скважин при подземном выщелачивании (б): 1 — пласт полезного ископаемого; 2 — гравийная засыпка; 3 — колонна обсадных труб с фильтром; 4 — смеситель; 5 — труба для подачи воздуха; 6 — колонна водоподъемных труб; 7 — воздухоотделитель; 8 — коллектор

ми. После отработки проведена дезактивация и рекультивация грунтов, в ходе которой загрязненные грунты сняты на глубину 0,5 м и вывезены. В результате рекультивации грунтовый покров восстановлен, радиационная обстановка на поверхности месторождения отвечает нормативным требованиям. После окончания эксплуатации в недрах осталось около 6,0 млн м³ остаточных технологических растворов, загрязненных радионуклидами и химическими соединениями. Земли, отчужденные на период эксплуатации месторождения «Девладово» рекультивированы и переданные первичному землепользователю.

В Николаевской области находились два участка подземного выщелачивания.

Участок подземного выщелачивания «Братское» расположен в бассейне р. Южный Буг. р. Мертвовод (в 5 км от месторождения), является естественным дренажем для подземных вод. Общая площадь 1120 тыс. м². Оработка месторождения проводилась с 1971 по 1989 гг., нарушенные земли рекульти-

вируются. После эксплуатации в недрах осталось около 5,2 млн м³ остаточных технологических растворов, загрязненных радионуклидами и химическими соединениями.

Участок подземного выщелачивания «Сафоновское» относится к южной части Украинского кристаллического щита. Наиболее крупный водоток р. Висунь отмечается низкой затратой. В период 1981—1984 гг. проводилась его опытная отработка по технологии подземного выщелачивания. В данное время участок рекультивирован, а земли переданы землепользователю.

Проводятся также опытно-промышленные испытания добычи урана нетрадиционными способами — блочным (подземным) и кучным (поверхностным) выщелачиванием. Для условий горнохимической отработки Мичуринского месторождения рекомендуются к применению очистные блоки шириной 20 м и длиной 35 м, исходя из целесообразности более полного использования существующих горных выработок [23].

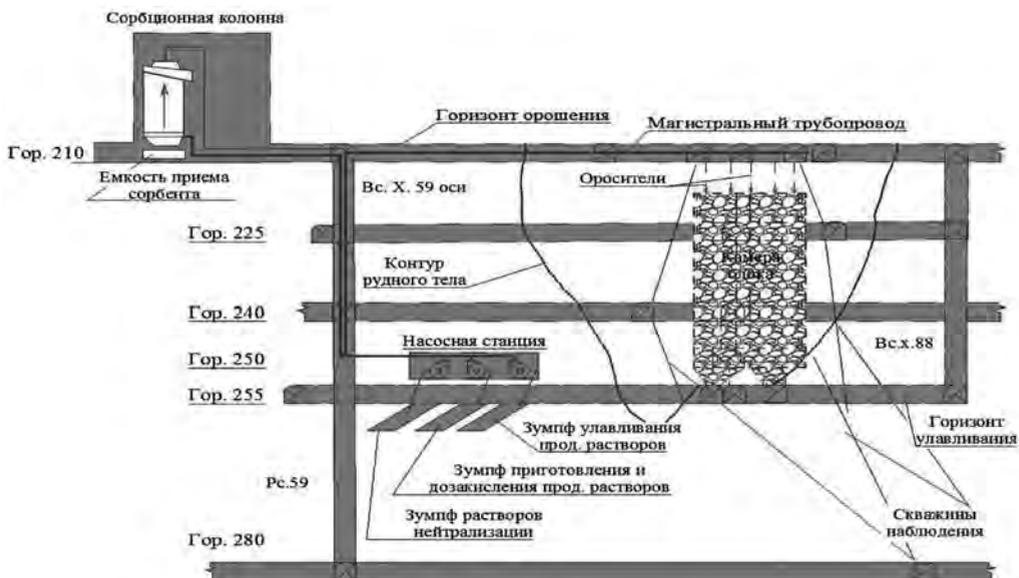


Рис. 4. Технологическая схема подготовки блока к выщелачиванию: Рс. 59 — рудоспуск 59 оси; Вс. X 59, Вс. X 88 — вентиляционно-ходовой восстающий 59 и 88 оси, соответственно

В условиях залежи 5 рекомендуется высота замагазинированной руды 50 м. Особенностью подготовки блоков к БВ является отказ от горизонта подсечки, дренажных скважин, от оформления днища блока взрыванием вееров нисходящих скважин. Придание днищу блока требуемого наклона обеспечивается за счет уменьшения длины соответствующих взрывных скважин в круговых веерах.

Исследования показали что, к ПБВ предъявляются высокие требования, к качеству буровзрывных работ, как основному технологическому процессу для последующего эффективного извлечения урана из замагазинированных руд. Формирование магазина рудной массы для ПБВ надо вести с использованием кинетической энергии кусков что разлетаются, с последующим измельчением руды в зажиме. В условиях Мичуринского месторождения предложена новая технология горных работ (рис. 4) и технологическое оборудование для ее осуществления (рис. 5).

Горная экология

Исследования проводились по следующим направлениям: рекультивация земель, нарушенных деятельностью горнодобывающих предприятий отрасли; обращение с твердыми отходами добычи и первичной переработки урановых руд; защита подземных вод при подземном выщелачивании урана через скважины, пробуренные с поверхности; закрепление пылящих поверхностей отвалов и хвостохранилищ; рациональное использование и охрана недр.

Выбор эффективных способов закрепления пылящих поверхностей

После проведения лабораторных исследований и выбора наиболее эффективных способов закрепления пылящих поверхностей, исследования были продолжены с использованием специальных кювет находящихся под открытым небом (рис. 6). Закреплению были подвергнуты хвосты в кюветах закрепителями, которые показали себя наиболее

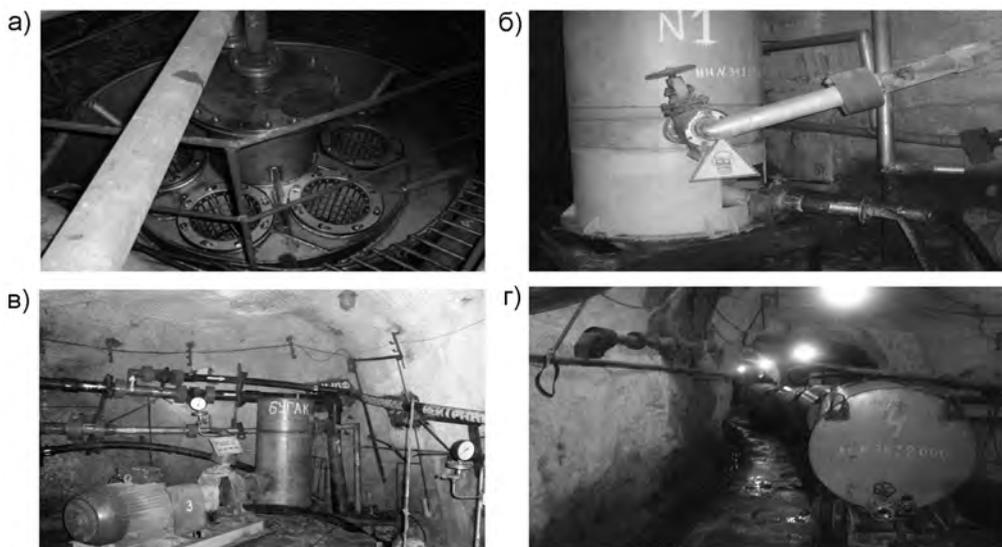


Рис. 5. Технологическое оборудование для выщелачивания руды на Ингульской шахте ГП «Вост ГОК»: сорбционные колонны типа СНК (а, б); насосная с емкостью 0,4 м³ и насосом АХ (в); состав емкостей с ионнообменной смолой и разбавленной серной кислотой (г)

эффективными при лабораторных исследованиях. Исследования были расширены за счет применения в качестве склеивающих добавок лигносульфатов. Здесь же были заложены опыты по исследованию грунтосмеси, состоящей из почвосмеси (глины), семян многолетних трав, минеральных и органических удобрений, пленкообразующих материалов, мульчирующих добавок (опилки, резаная солома, вода), которые дали положительные результаты.

Промышленный эксперимент проводился непосредственно на южной части действующего хвостохранилища. В условиях хвостохранилища на полигоне, включающем 10 участков размером 2,0х1,0 м проведены испытания трех способов закрепления: химический; грунтосмесями в виде окатышей; грунтосмесями в виде специально подготовленного раствора.

Химическое закрепление пылящей поверхности

Оно заключалось в обработке поверхности участка на хвостохранилище химическими веществами (см. рис. 6, а). Водорастворимые полимеры проявляют стабилизирующие свойства при содержании в грунтах 10^{-2} ... 10^{-1} масс%. Соотношение твердого к жидкому (Т:Ж) в исходной пульпе изменялось от 1 до 5.

Содержание закрепителей (полимеров) по отношению к воде — 0,5% полиакриламида и 2% — гипана и лигносульфата. Водный раствор закрепителей готовился непосредственно перед их нанесением. Нанесение на пылящую поверхность хвостохранилища осуществлялось разбрызгиванием с помощью лейки. Расход раствора — 5–6 л на 1 м² поверхности, регулировался с учетом небольших закрепляемых площадей.

Биологическое закрепление пылящей поверхности

Осуществлялось грунтосмесями в виде окатышей заключалось в укладке закрепляющего материала шарообразной формы по пылящей поверхности, при этом окатыши изготавливались из глины, соломы (камыша), древесных опилок, скрепляющих добавок (ГИПАН, лигносульфаты) и воды при следующих соотношениях ингредиентов, масс.%; глина — 68–75; дробленая солома, камыш или опилки — 3–8; лигносульфаты или ГИПАН — 0,3–1; семена растений, вода — остальное (см. рис. 6, б). Окатыши готовились заблаговременно в лабораторных условиях ГП «УкрНИПИИпротехнологии». Расход 8–10 кг окатышей на 1 м². Солома или камыш резались на кусочки длиной до 2 см, опилки, просеянные через сито с диаметром отв. 1 см.

а)



б)



Рис. 6. Закрепление пылящих поверхностей в кюветах с хвостами (фото:общий вид): химическое закрепление (а); обработанными окатышами (гранулами) на основе грунтосмесей и специально подготовленным составом (б)

Расход соломы до 10 кг на 1 м² поверхности. Нанесение на пылящую поверхность осуществляли путем разбрасывания.

Закрепление пылящих поверхностей специально подготовленным составом

Заключается в укладке закрепляющего материала в виде глинистого раствора с добавками ингредиентов. В качестве ингредиентов использовали глину, чернозем, опилки, лигно-сульфанаты или ГИПАН, воду, удобрения, семена растений. Расход — 12–15 л на 1 м². Закрепление пылящих поверхностей хвостохранилища целесообразно осуществлять составами содержащими: воду, удобрение, семена трав, ГИПАН и мульчирующие добавки (глина и опилки) или воду, удобрение, семена трав, ГИПАН и мульчирующие добавки (глина, зола ТЭЦ и опилки). Грунтосмесь готовили на хвостохранилище перед ее нанесением.

На хвостохранилищах, где рН хвостов находится в пределах 6,5–7,5 возможно биологическое закрепление пылящей поверхности за счет нанесения на их поверхность плодородных грунтосмесей, состоящих из глины, зол ТЭЦ, мульчирующих и склеивающих добавок, семян трав и удобрений. Нанесение такой смеси осуществляется с применением гидросеялки, на базе тракторов на гусеничном или колесном ходу, самолетов или вертолетов, которые используются в МЧС Украины для подавления пожаров.

Эффективность горной технологии

Она определяется при сравнении вариантов разработки с учетом затрат на всех переделах и защиту населения, проживающего в зоне влияния горных объектов (Z_H) по критерию сохранности земной поверхности описывается аналитической моделью согласно формуле

$$P = \sum_{i=1}^n \left[(C_{AP} - C_{AP} \pm (Y + Z_H)) \right] \frac{1}{1 + E^{t-1}} \cong \cong \max, \quad (6)$$

где C_{AP} — суммарная извлекаемая ценность конечной продукции из металлосодержащих руд, ден. ед.; C_{AP} — суммарные затраты на добычу и получение конечной продукции, ден. ед.; Y — суммарный ущерб, наносимый (–) окружающей среде или предотвращаемый (+) с учетом затрат на защиту населения, проживающего в зоне влияния горных предприятий (Z_H), ден. ед.; E — коэффициент дисконтирования затрат и прибыли во времени t применения оцениваемой технологии, доли ед.

Для строгой регламентации требований к основным параметрам (с учетом конструктивных особенностей применяемой системы) и погашения выработанного пространства твердеющей смесью стандартизированы и другие технологические процессы и элементы технологии подземной разработки в конкретных горно-геологических условиях урановых месторождений Украины (СТП — «Схемы подготовки залежей», «Параметры и конструкция днищ блоков», «Буровые и взрывные работы. Параметры и размеры», «Закладка выработанного пространства твердеющей смесью» и др.). Настоящий комплект стандартов введен на горных предприятиях ГП «ВостГОК» и успешно используется специалистами технологических и геолого-маркшейдерских служб.

Направление дальнейших исследований

В последнее время находят применение новые геоинформационные автоматизированные комплексные системы управления горными работами и ресурсами на основе систем K-MINE® и КСУП KAI® (разработчик: Научно-производственное предприятие «Кривбасс-

академинвест» совместно с Международной Академией компьютерных наук и систем), которая базируется на использовании специальных графических библиотек OpenGL, DirectX и др. Их целью является создание единого информационного массива геопространственных данных для возможности автоматизации процессов съемки, проектирования и планирования горных работ и адаптации ее для урановых месторождений Украины. ГИС K-MINE® сертифицирована на соответствие международных стандартов ISO (Сертификат соответствия международным стандартам ISO/IEK 12119:1994 № UA1.003.0105381-05), имеет рекомендации Госпромгорнадзора Украины для использования ее на предприятиях по добыче полезных ископаемых (лицензия Государственной геологической службы Украины серия АВ № 047455 от 31.03.2006 г.). Основные разработки внедрены и показали положительные результаты на горно-обогатительных комбинатах, в Госкомиссии Украины по запасам полезных ископаемых, институтах Государственной геологической службы Украины, Госгорпромнадзор Украины и др.) [19]. Основные результаты и перспективы использования ГИС K-MINE® в различных сферах деятельности обсуждены и получили одобрение на 3-х научно-практических семинарах (3-й семинар SVIT GIS-2016, состоялся 16–20 мая 2016 г. в г. Трускавец, Украина).

Таким образом, опыт использования природо- и ресурсосберегающих технологий, включая процессы приготовления, транспортирования и размещения твердеющих закладочных смесей, позволяет оценить перспективу расширения области применения малозатратных технологий и определить направления дальнейшего развития способов управления состоянием массивов горных пород при подземной разработке

урановых месторождений, а также других — с аналогичными горно-геологическими и горнотехническими условиями. Научное сопровождение горной технологии обеспечивает создание соответствующей подсистемы автоматизации проектирования и планирования работ на основе автоматизированной геоинформационной системы обеспечения горного производства, повышение радиационной безопасности окружающей среды и здоровья населения, проживающего в уранодобывающем и перерабатывающем регионе, создание систем экологического и радиационного мониторингов. Все разработки внедрялись в проекты на уровне опытно-промышленного эксперимента. Для широкомасштабного внедрения прогрессивных разработок требуется промышленное внедрение. Это главное направление по реализации «Программы развития уранового производства Украины на период до 2030 года» («Уран Украины») [14–20].

Выводы

1. Комплексное повышение эффективности всех технологических процессов горного производства, включающих рациональные схемы вскрытия (многоэтажное вскрытие с шагом 240 м), подготовки и нарезки эксплуатационных блоков (спиральными съездами на 3–5 блоков), увеличение высоты этажа с 60 до 90 м, позволило повысить интенсивность отработки месторождений в 1,3–1,5 раза, производительность труда по системе разработки в 2,2 раза, увеличить до 40–45% использование технических ресурсов и снизить трудовые затраты до 20–22%.

2. Повышение интенсивности работ позволяет снизить нормативную прочность твердеющей закладки с 8,5 до 3,5 МПа, в 1,5–2 раза, сократить расходы вяжущего, использовать низкосортные пески и отходы горно-металлур-

гического производства. Оптимальная крупность пород, с учетом затрат на дробление, трубопроводный транспорт и плотности укладки в отработанных камерах, рекомендована в пределах 25–35 мм. Оптимальная тонкость помола шлака составляет 50–60% частиц крупностью 0,074 мм. В результате частично решена проблема дефицита инертных заполнителей и на 30–50% снижена себестоимость закладочных работ.

3. Рекомендовано закрепление пылящих поверхностей грунтосмесями в виде окатышей, которое заключалось в укладке закрепляющего материала шарообразной формы по пылящей поверхности, при этом окатыши изготавливались из глины, соломы (камыш), древесных опилок, скрепляющих добавок (ГИПАН, лигносульфанаты) и воды при следующих соотношениях ингредиентов, масс. %: глина — 68–75; дробленая солома, камыш или опилки — 3–8; лигносульфанаты или ГИПАН — 0,3–1; семена растений, вода — остальное. Расход окатышей — 8–10 кг на 1 м².

4. Экологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых достигается за счет сохранения земной поверхности от разрушения, комплексными методами оценки напря-

женного состояния вмещающих горных пород и целиков различного назначения за их состоянием (геомеханический мониторинг), а также учета степени воздействия сейсмических колебаний в массиве и их влияния на поверхностные объекты (сейсмический мониторинг).

Заключение

Полученные результаты не исчерпывает проблему природо- и ресурсосбережения, охраны окружающей среды и человека. Развитие методических основ оптимизации горной технологии должно привести к созданию соответствующей подсистемы автоматизации проектирования и планирования горных работ, повышению геомеханической, сейсмической и радиационной безопасности окружающей среды и здоровья населения, проживающего в уранодобывающем и перерабатывающем регионах [21–27].

В организации создания, совершенствования и внедрения научных разработок принимали участие и оказывали содействие специалисты ГП «УкрНИПИ промтехнологии» (г. Желтые Воды), АО «ВНИПИ промтехнологии» (г. Москва), АО «ВНИИХТ» (г. Москва), ГП «ВостГОК» (г. Желтые Воды), АО «ВНИМИ» (г. Санкт-Петербург), ГП «Кировгеология» (г. Киев) и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протодяконов М. М. Давление горных пород и рудничное крепление. Ч. 1 : Давление горных пород, 3-е изд., испр. — М.: изд. ГНТГИ, 1933. — 128 с.
2. Слесарев В. Д. Определение оптимальных размеров целиков различного назначения. — М.: Углетехиздат, 1948. — 57 с.
3. Ветров С. В. Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд. — М.: Наука, 1975. — 223 с.
4. Фисенко Г. Л. Предельное состояние горных пород вокруг выработок. — М.: Недра, 1976. — 272 с.
5. Борисов А. А. Механика горных пород и массивов. — М.: Недра, 1980. — 359 с.
6. Хомяков В. И. Зарубежный опыт закладки на рудниках. — М.: Недра, 1984. — 224 с.
7. Слепцов М. Н., Азимов Р. Ш., Мосинец В. Н. Подземная разработка месторождений цветных и редких металлов. — М.: Недра, 1986. — 206 с.
8. Постановление Верховного Совета Украины от 16.10.1992 года № 2705—XI «Об утверждении «Экологически чистой энергетики и ресурсосберегающих технологий».
9. Кодекс Украины о недрах г. Киев, 27 июля 1994 года № 132/94-ВС.
10. Добыча и переработка урановых руд. Монография / Под общ. ред. А. П. Чернова. — Киев: Адеф—Украина, 2001. — 238 с.

11. «Комплексна програма створення ядерно-паливного циклу в Україні», утверджена постановленням Кабінету Міністрів України от 06 июня 2001 г. № 634—1.
12. *Ляшенко В. И.* Природо- и ресурсосберегающие технологии и технические средства для подземной разработки урановых месторождений // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* — 2003. — № 4. — С. 128—133.
13. *Ляшенко В. И.* Природо- и ресурсосберегающие методы управления запасами при подземной разработке месторождений сложной структуры // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* — 2005. — № 1. — С. 122—127.
14. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 року № 145-Р «Про затвердження «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року».
15. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27.07.2006 року № 436-Р «Про затвердження «Плану заходів на 2006—2010 роки щодо реалізації «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року».
16. *Дятчин В. З., Ляшенко В. И., Франчук В. П.* Совершенствование конструкций грохотов для горнорудной промышленности // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* — 2007. — № 3. — С. 98—102.
17. *Ляшенко В. И., Голик В. И.* Добыча полезных ископаемых комбинированными технологиями выщелачивания // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* — 2007. — № 4. — С. 68—73.
18. *Ляшенко В. И., Савельев Ю. Я., Ткаченко А. А.* Безопасность подземной разработки урановых месторождений — надежное геомеханическое обеспечение // *Металлургическая и горно-рудная промышленность.* — 2007. — № 6. — С. 86—89.
19. *Ляшенко В. И., Назаренко В. М., Назаренко М. В.* Охране недр — надежное инженерное и системное обеспечение // *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності.* — 2007. — № 4. — С. 5—21.
20. *Ляшенко В. И.* Повышение сейсмической безопасности при подземной разработке приповерхностных запасов месторождения под городской застройкой // *Безопасность труда в промышленности.* — 2015. — № 9. — С. 38—42.
21. *Ляшенко В. И.* Развитие геомеханического мониторинга свойств и состояния массива горных пород при подземной разработке месторождений сложной структуры // *Маркшейдерский вестник.* — 2016. — № 1. — С. 35—43.
22. *Ляшенко В. И., Пухальский В. Н.* Повышение безопасности подземной разработки приповерхностных запасов месторождений сложной структуры // *Безопасность труда в промышленности.* — 2016. — № 2. — С. 36—41.
23. *Андреев Б. Н., Ляшенко В. И., Куча П. М.* Комбинированные технологии подземного блочного выщелачивания урана со скальных руд // *Безопасность труда в промышленности.* — 2016. — № 10. — С. 71—78.
24. *Reiter K., Heidbach O.* 3-D geomechanical—numerical model of the contemporary crustal stress state in the Alberta Basin (Canada) // *Solid Earth.* 2014. No. 5. Pp. 1123—1149.
25. *Wesseloo J., Woodward K., Pereira J.* Grid-based analysis of seismic data // *The Journal of Southern African Institute of Mining and Metallurgy.* 2014. Vol. 114. Pp. 815—822.
26. *Reichl C., Schatz M., Zsak G.* World Mining Data. Vol. 30. Mineral production. Vienna, 2015. 261 p.
27. *Glagolev V. V., Glagolev L. V., Markin A. A.* Stress-strain state of elastoplastic bodies with crack // *Acta Mechanica Solida Sinica.* 2015. Vol. 28, No. 4. Pp. 375—383. **ГІАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Ляшенко Василий Иванович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник отдела, e-mail: vi_lyashenko@mail.ru, Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии, Украина,
Голик Владимир Иванович — доктор технических наук, профессор, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), e-mail: v.i.golik@mail.ru.

V.I. Lyashenko, V.I. Golik

SCIENTIFIC AND ENGINEERING SUPERVISION OF URANIUM PRODUCTION DEVELOPMENT. ACHIEVEMENTS AND CHALLENGES

The main scientific and practical results of scientific and engineering and technological support of the development of uranium production, and resource-saving technologies-creation and implementation of prirodo and technical means to ensure elevated in environmental protection and rational use of mineral resources, as well as economic, environmental and social efficiency development of uranium mestorozhdeniya, the safety of life of the population in the uranium mining regions. Developmon and implemented a system of observations over the massif strained state in the mining enterprises (geomechanical and seismic monitoring). Presented uranium extraction by underground leaching technology, which is implemented in the reservoir and tested on rocky fields of Ukraine. We describe the new technologies and tools for securing the dusty surfaces in cells with tails: chemical fixation; treated pellets (beads) based gruntsomesey; specially prepared nym composition. The efficiency of mining technology, which, when compared to boil Antes development is determined by taking into account the costs of the redistribution and the protection of the population living in the zone of influence of mining facilities on the criterion of preservation of the earth's surface and the creation of environmental and radiation monitoring.

Key words: uranium production, development systems, vibration equipment, blasting, geotechnology, environmental protection.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-137-152

AUTHORS

Lyashenko V.I., Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher, Head of Department,
e-mail: vi_lyashenko@mail.ru,
Ukrainian Scientific-Research and Design-Prospecting Institute
of Industrial Technology, 52204, Zheltye Vody, Ukraine
Golik V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: v.i.golik@mail.ru,
North Caucasus Mining-and-Metallurgy Institute
(State Technological University),
362021, Vladikavkaz, Republic of North Ossetia-Alania, Russia.

REFERENCES

1. Protod'yakonov M. M. *Davlenie gornykh porod i rudnichnoe kreplenie*. Ch. 1 : Davlenie gornykh porod, 3-e izd. (Pressure of rocks and mine mount, part 1: Pressure of rocks, 3rd edition), Moscow, izd. GNTGI, 1933, 128 p.
2. Slesarev V. D. *Opredelenie optimal'nykh razmerov tselikov razlichnogo naznacheniya* (Determination of optimal dimensions of pillars for various purposes), Moscow, Ugletekhizdat, 1948, 57 p.
3. Vetrov S. V. *Dopustimye razmery obnazheniy gornykh porod pri podzemnoy razrabotke rud* (Acceptable limits of outcrops of rocks at underground mining of ores), Moscow, Nauka, 1975, 223 p.

4. Fisenko G. L. *Predel'noe sostoyanie gornykh porod vokrug vyrabotok* (Limit state of rocks around an excavation), Moscow, Nedra, 1976, 272 p.
5. Borisov A. A. *Mekhanika gornykh porod i massivov* (Rock mechanics and arrays), Moscow, Nedra, 1980, 359 p.
6. Khomyakov V. I. *Zarubezhnyy opyt zakladki na rudnikakh* (Foreign experience of bookmarks in the mines), Moscow, Nedra, 1984, 224 p.
7. Sleptsov M. N., Azimov R. Sh., Mosinets V. N. *Podzemnaya razrabotka mestorozhdeniy tsvetnykh i redkikh metallov* (Underground development of deposits of nonferrous and rare metals), Moscow, Nedra, 1986, 206 p.
8. *Postanovlenie Verkhovnoho Soveta Ukrainy ot 16.10.1992 goda no 2705–Khl «Ob utverzhenii «Ekologicheskoi chistoy energetiki i resursoberegayushchikh tekhnologiy»* (The resolution of the Supreme Council of Ukraine dated 16.10.1992 year No. 2705–XI «On approving the «clean energy and resource-saving technologies»).
9. *Kodeks Ukrainy o nedrah*, g. Kiev, 27 iyulya 1994 goda no 132/94-VS (The code of Ukraine on mineral resources, Kiev, 27 July 1994 no 132/94-BC).
10. *Dobycha i pererabotka uranovykh rud*. Monografiya. Pod red. A. P. Chernova (Mining and processing of uranium ores. Monograph. Chernov A. P. (Ed.)), Kiev, Adef–Ukraina, 2001, 238 p.
11. «*Kompleksna programa stvorenniya yaderno-palivnogo tsiklu v Ukraini*», utverzhdeniya postanovleniem Kabinetu Ministriv Ukrainy ot 06 iyunya 2001 g, no 634–1 («Комплексна програма створення ядерно-паливного циклу в Україні», approved by the resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated June 06, 2001, no 634–1).
12. Lyashenko V. I. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2003, no 4, pp. 128–133.
13. Lyashenko V. I. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2005, no 1, pp. 122–127.
14. *Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukraini vid 15.03.2006 roku no 145-R «Pro zatverdzhennya «Energetichnoi strategii Ukraini na period do 2030 roku»* (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 року no 145-R «Про затвердження «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року»).
15. *Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukraini vid 27.07.2006 roku no 436-R «Pro zatverdzhennya «Planu zahodiv na 2006–2010 roki shchodo realizatsii «Energetichnoi strategii Ukraini na period do 2030 roku»* (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27.07.2006 року no 436-R «Про затвердження «Плану заходів на 2006–2010 роки щодо реалізації «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року»).
16. Dyatchin V. Z., Lyashenko V. I., Franchuk V. P. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2007, no 3, pp. 98–102.
17. Lyashenko V. I., Golik V. I. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2007, no 4, pp. 68–73.
18. Lyashenko V. I., Savel'ev Yu. Ya., Tkachenko A. A. *Metallurgicheskaya i gorno-rudnaya promyshlennost'*. 2007, no 6, pp. 86–89.
19. Lyashenko V. I., Nazarenko V. M., Nazarenko M. V. *Ekologiya dovkillya ta bezpeka zhittediyal'nosti*. 2007, no 4, pp. 5–21.
20. Lyashenko V. I. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2015, no 9, pp. 38–42.
21. Lyashenko V. I. *Marksheyderskiy vestnik*. 2016, no 1, pp. 35–43.
22. Lyashenko V. I., Pukhal'skiy V. N. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2016, no 2, pp. 36–41.
23. Andreev B. N., Lyashenko V. I., Kucha P. M. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2016, no 10, pp. 71–78.
24. Reiter K., Heidbach O. 3-D geomechanical–numerical model of the contemporary crustal stress state in the Alberta Basin (Canada). *Solid Earth*. 2014. No. 5, pp. 1123–1149.
25. Wesseloo J., Woodward K., Pereira J. Grid-based analysis of seismic data. *The Journal of Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2014. Vol. 114, pp. 815–822.
26. Reichl C., Schatz M., Zsak G. *World Mining Data*. Vol. 30. Mineral production. Vienna, 2015. 261 p.
27. Glagolev V. V., Glagolev L. V., Markin A. A. Stress-strain state of elastoplastic bodies with crack. *Acta Mechanica Solida Sinica*. 2015. Vol. 28, No. 4, pp. 375–383.

