

УДК622.349.5(470)

В. С. СВЯТЕЦКИЙ, И. Н. СОЛОДОВ (Урановый холдинг «АРМЗ» (АО «Атомредметзолото»))

СТРАТЕГИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ РОССИИ



В. С. СВЯТЕЦКИЙ,
первый заместитель
генерального директора –
исполнительный директор



И. Н. СОЛОДОВ,
директор программ
инновационного
и технологического развития

В соответствии со стратегией развития уранодобывающей отрасли до 2025 г. добыча урана в Российской Федерации возрастала, и доля подземного способа разработки в ней преобладала, составляя 80–90 %. При этом доля геотехнологических методов добычи, прежде всего скважинного подземного выщелачивания, не превышала 10–20 %.

За прошедшие годы вектор развития отрасли кардинально изменился как по объему производства природного урана, так и по набору методов добычи и переработки урановых руд. В стратегии 2014 г. соотношение подземного способа и геотехнологических методов добычи принимается примерно равным. Пересмотру стратегии способствовали внешние и внутренние факторы.

Внешним фактором является снижение спроса на природный уран, ввиду его перепроизводства в течение последних 4 лет и, как следствие, падения цен. В ближайшие 10 лет цена будет определяться объемом производства богатых урановых руд при разработке месторождений несогласия подземным способом в Канаде и бедных руд гидрогенных месторождений скважинным подземным выщелачиванием в Казахстане.

К внутренним разнонаправленным факторам можно отнести обеднение урановых руд на подземных рудниках ПАО «ППГХО» («Глубокий», рудники № 1, 2 и 4) Стрельцовой группы месторождений, а также значительное расширение запасов гидрогенных месторождений урана Витимского ураново-рудного района и Хиагдинского рудного поля, пригодных для разработки методом скважинного подземного выщелачивания (АО «Хиагда»).

Глобальной целью стратегии развития действующих уранодобывающих предприятий АРМЗ на ближайшие 10 лет является ста-

Представлены направления развития инновационных технологий уранодобывающих предприятий России, позволяющие значительно повысить эффективность их деятельности с одновременным расширением минерально-сырьевой базы и интенсификации добычи и переработки урановых руд. Это позволит достигнуть высоких экономических показателей уранового сегмента атомной промышленности.

Ключевые слова: урановые месторождения, добыча и переработка урановых руд, подземная разработка, скважинное подземное выщелачивание, кучное выщелачивание, блочное подземное выщелачивание, уранодобывающие предприятия.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.07.10>

бильное обеспечение внешних и внутренних потребностей Госкорпорации «Росатом» урановым сырьем. Одновременно необходимо добиться снижения себестоимости конечной продукции. Сокращение консолидированной себестоимости урана по всем добывающим предприятиям холдинга происходит за счет снижения объемов добычи дорогостоящим традиционным подземным горным способом и увеличения доли добычи урана малозатратными геотехнологическими методами. На это же направлена диверсификация производства, значительная часть которой ориентирована на создание новых производств и переработку техногенных месторождений в виде отходов производства концентрата природного урана. Это позволит не только получить дополнительный доход, но и снизить техногенную нагрузку на окружающую природную среду. Ключевыми целями по-прежнему остаются повышение уровня безопасности горных работ, а также сохранение квалифицированного персонала и развитие компетенций в области добычи и переработки урановых руд.

Стратегия технологического развития ПАО «ППГХО»

Развитие сырьевой базы. Балансовые запасы урана предприятия на 01.01.2015 г. составляют 106,5 тыс. т. Вследствие длительной эксплуатации месторождений на действующих рудниках произошло уменьшение мощности рудных тел и снижение содержания урана в рудах; преобладают рядовые и бедные руды.

С целью поиска богатых урановых руд в пределах Стрельцовского рудного поля и в южной части Восточно-Урулюнгуевской впадины (вулканогенно-тектоническая структура — ВТС) в 2013 г.

начаты прогнозно-рекогносцировочные и поисковые работы по проекту «Кальдера».

Ведущими российскими специалистами в области урановой геологии во главе с учеными ВИМС предполагается значительный нереализованный потенциал ВТС, который может быть наиболее эффективно раскрыт при системном проведении поисковых и разведочных работ скрытого и слабопроявленного с поверхности уранового оруденения с использованием современных методов компьютерного прогноза. Наиболее высока вероятность обнаружения крупных объектов с высокими содержаниями урана (0,5 % и выше) в глубоких горизонтах Стрельцовской кальдеры в базальной части вулканогенно-осадочной толщи и верхней части кристаллического фундамента.

ВИМС предложена новая методология поисков скрытых месторождений урана, основой которой является выделение и картирование крупных гранитизированных блоков фундамента рудогенерирующих систем. Выделение площадей под глубинные поиски по результатам геолого-геофизических и буровых работ масштаба 1:200 000–1:50 000 выполняется на основе геолого-геофизического 3D-моделирования. Для анализа привлечены современные методы исследований, в том числе:

- метод АРК, использующий оригинальный алгоритм и современные компьютерные технологии, позволяющий выявлять зоны привноса-выноса урана, отстраивать радиогеохимическую зональность;

- компьютерные технологии для переинтерпретации исторических данных вертикального электрического зондирования;

- компьютерное моделирование с помощью программы RockWorks для разработки объемных поисковых геолого-геофизические моделей на основе эталонных поисковых моделей месторождений Антей-Стрельцовское и Аргунское;

компьютерная технология CASCADE-3D для разработки поисковой геофизической модели на основе обработки гравимагнитных карт масштаба 1:25 000 и ее уточнение по ранее пробуренным глубоким скважинам;

- атмогеохимические (САН, замер потока радона, ионно-потенциальный метод), литогеохимические и гравимагнитные съемки.

В результате проведенных в 2013–2014 гг. комплексных исследований исторических данных разведки рудного поля выявлено четыре перспективных участка общей площадью 88 км². Намеченный комплекс поисковых работ предусматривается завершить к 2020 г.

Управление запасами и планирование работы рудника. С 2010 г. в ПАО «ППГХО» внедряются горно-геологические компьютерные технологии (ГГКТ), являющиеся основой оптимизации добычи урана подземным способом. С их помощью формируются базы геологических данных, выполняется геолого-математическое и горнотехническое моделирование для управления запасами, планирования и управления горными работами.

До недавнего времени доказательств того, что компьютерные технологии являются более эффективными, чем традиционный метод проектирования и планирования горных работ, отсутствова-



Панорама рудника № 2 ПАО «ППГХО»

ли. Выполненное АО «Русбурмаш» сравнение традиционных методов планирования горных работ с планированием на основе горно-геологических компьютерных технологий показало сравнительно высокую эффективность последних.

Для проведения сравнительного анализа на Стрельцовском месторождении был выбран отработанный эксплуатационный блок 4г-713. Для построения геологической и горнотехнической моделей блока на основе данных детальной и эксплуатационной разведки и фактической отработки блока использовали следующие программные продукты: DIGIMINE (создание базы геологических данных); Micromine (построение каркасной и блочной 3D-моделей, классификация и подсчет ресурсов); Mineable Shape Optimizer и Datamine (оптимизация выемочных единиц); Mine2-4D и Datamine (проектирование подземных горных выработок); Enhanced Production Scheduler и Datamine (планирование горных работ) (рис. 1).

В результате сравнения традиционного и современного подходов к планированию отработки эксплуатационных блоков выявлено, что применение ГГКТ позволяет уменьшить объем извлекаемой горнорудной массы на 32,8 %, увеличив содержание урана в извлекаемых запасах на 35,2 % (с 0,169 до 0,228 %). При этом запасы уменьшились на 9,2 %, но одновременно на год сократился и срок отработки блока. В дополнение к этим достоинствам еще следует отнести рациональное использование эксплуатационной разведки и повышение качества проектирования и планирования горных работ за счет более точной оценки морфологии рудных тел и распределения урана, а также снижение объемов подготовительных и нарезных работ на 10 %.

Подземный способ разработки. В связи с ухудшением качества руд доля затрат на добычу в себестоимости конечной продукции постоянно растет и за последние годы увеличилась с 50 до 60 %. Снижение этого показателя возможно за счет повышения эффективности традиционного способа разработки нисходящими горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства (НГСЗ) и использования высокопроизводительных систем разработки [1].

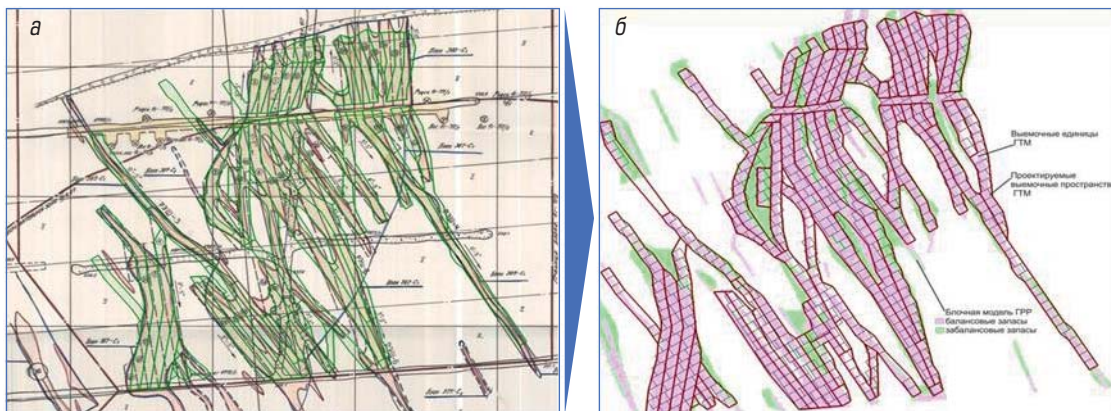


Рис. 1. Сравнение проекта очистных работ, выполненного традиционным методом (а) и построенного с помощью программ горнотехнического моделирования (б)

На действующих рудниках № 1, 2, 4, 8 и «Глубокий» опробованы следующие системы разработки: НГСЗ; восходящие горизонтальные слои с закладкой (ВГСЗ) со сплошной и селективной выемкой руды; с горизонтальными слоями повышенной высоты (ГСПВ); подэтажные штреки с подэтажным обрушением (массовые системы разработки — МСР).

Экономический анализ эффективности всех систем разработки выполняли при постоянных заданных величинах: балансовая руда — 123 тыс. т, содержание урана в геологических запасах — 0,1 %; потери при добыче — 3 %; горно-подготовительные работы — 200 м (горизонтальные) и 300 м (вертикальные), численность горных рабочих — 11 человек. Результаты показали, что по производительности и маржинальности системы располагаются в следующем возрастающем порядке: ВГСЗ, НГСЗ, ГСПВ, МСР без закладки.

Несмотря на высокую эффективность МСР, ее доля на действующих рудниках не будет превышать 10 % ввиду существующих горно-геологических и горнотехнических условий. В основном будет применяться традиционная система разработки — НГСЗ (рис. 2), доля которой в общем объеме добычи составит 85–90 %.

За последние 20 лет в технологии ведения добычных работ произошли серьезные изменения. Ввиду сложности горно-геологических условий на месторождениях преимущественно применяемая система разработки НГСЗ позволяет разрабатывать маломощные рудные тела с минимальным разубоживанием. Уменьшению разубоживания способствовало применение нового малогабаритного (ширина 1050 мм) оборудования: ковшовых погрузочно-транспортных машин с электрическим и дизельным приводом Microskoop-100E (100D) и ПД-13. Для выемки рудных тел мощностью более 3 м применяют более производительные машины среднего класса Того-151D и ПД-23, с их помощью производится также подготовка блоков и нарезка очистных слоев.

Машины ПД-13 и ПД-23 созданы конструкторами ПАО «ППГХО» и изготавливаются в дочернем предприятии ООО «Ремонтно-механический завод» с использованием российских комплектующих.

Применение системы разработки ГСПВ с нисходящей селективной отбойкой руды существенно не изменится и сохранится на уровне 3–4 %.

Возможность внедрения высокопроизводительных систем разработки (МСР, этажно-камерные, с магазинированием, с самообрушением и др.) появится при освоении запасов Аргунского и Жерлового месторождений при запуске в эксплуатацию проектируемого рудника № 6. По предварительной оценке, доля этих систем в общем объеме добычи может достигнуть 40 %.

Прогноз горных ударов. В настоящее время разработка месторождений Стрельцовского рудного поля ведется пятью рудниками до глубины 500–850 м. Сложные горно-геологические и геомеханические условия определяют необходимость решения проблем предотвращения опасных динамических проявлений горного давления, оказывающих негативное влияние на эффективность и безопасность горного производства.

Первые проявления горного давления в динамической форме были отмечены на месторождении Антей в 1976–1977 гг. По заключению специалистов ВНИМИ, месторождение Антей с глубины 500 м было отнесено к опасным по горным ударам. С развитием очистных работ и их переходом на более глубокие горизонты интенсивность динамических проявлений горного давления резко возросла. В отдельные годы последнего десятилетия на месторождении Антей зарегистрировано более 100 случаев динамических проявлений в форме стреляний пород, заколообразования, разрушения искусственной кровли очистных заходок, щелчков и толчков внутри массива, в ряде случаев сопровождавшихся разрушением закладки и почвы выработок, иногда с поднятием и деформированием рельсовых путей.

Согласно решению расширенного совещания комиссии по горным ударам от 08.04.2010 г., на месторождениях предприятия создана многоуровневая система комплексного геодинамического мониторинга — геодинамический полигон для разработки и внедрения комплекса методов и технических средств мониторинга геодинамических процессов в районе разработки месторождений Стрельцовского рудного поля, обеспечивающих безопасность и эффективность горных работ на действующих и строящихся руд-

никах. Система объединяет ряд методов (сейсмический, деформационный, геоакустический, геодезический, тектонофизический и др.) и измерительных комплексов в единую интегрированную наблюдательную сеть.

В 2011 г. к решению этой задачи привлечены ведущие специалисты научно-исследовательских институтов — Института горного дела ДВО РАН, Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Института земной коры СО РАН, Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

Создание такой системы и организация наблюдений позволит выделять в горном массиве региональные и локальные предвестники геодинамических явлений разного энергетического уровня и обосновать комплекс мер по эффективному освоению месторождений полезных ископаемых с учетом геодинамических и техногенных процессов.

Блочное подземное выщелачивание урана. В условиях обеднения урановых руд и уменьшения мощности рудных тел применение метода блочного подземного выщелачивания (БПВ) становится особенно перспективным [2–8].

Главной особенностью БПВ (рис. 3) является то, что основной объем горнорудной массы (80 %) остается в недрах на месте залегания руд. На поверхность извлекается незначительный объем породы (20 %) при создании компенсационного пространства для дробления и magazинирования руды, оборудования камер орошения и сбора продуктивных растворов.

Предприятием проведены обширные исследования на укрупненных лабораторных моделях, в результате которых определен оптимальный размер куска руды (50–75 мм), установлен наиболее эффективный уровень извлечения урана (70 %), найдена оптимальная область применения БПВ в зависимости от цены реализации конечной продукции.

Опытно-промышленные работы на месторождениях Юбилейное, Весеннее, Новогоднее, Лучистое и Стрельцовское, в результате которых изучены основные параметры процесса БПВ в большинстве технологических типов рудовмещающих пород (фельзиты, конгломераты, пестроцветные гравелиты, туфопесчаники, трахидацилы, базальты, андезитобазальты), показали, что наиболее пригодными для БПВ являются фельзиты и конгломераты, обладающие более высокой гидравлической проницаемостью [9]. Для этих технологических типов в натуральных условиях достигнут уровень извлечения урана от 55 до 89 %.

Программой развития предприятия предусмотрено применение БПВ на руднике № 4. Запланированы опытно-промышленные работы. Годовой объем добычи урана методом БПВ предполагается на уровне 200–300 т. В этом случае снижение себестоимости производства готовой продукции в среднем составит 16 %. Данный показатель достигается за счет исключения высокочрезвычайно затратных операций, таких, как выпуск, погрузка и доставка на поверхность 70–80 % отбитой в блоке горнорудной массы; закладка выработанного пространства твердеющей смесью; исключение транспортирования руды на поверхность; процессов сепарации и рудоподготовки для гидрометаллургического передела; формирование хвостов. Кроме

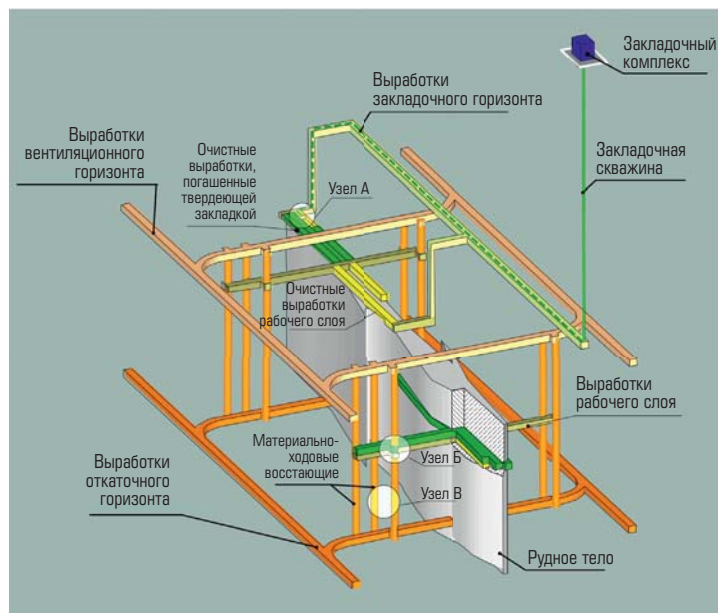


Рис. 2. Система разработки с нисходящими горизонтальными слоями с твердеющей закладкой выработанного пространства

того, применение БПВ снижает объем выплаты налогов за хранение на поверхности РАО в виде хвостов гидрометаллургического завода (ГМЗ), снижает техногенную нагрузку на природную среду, увеличивает сырьевую базу предприятия, так как в отработку вовлекаются бедные руды узких рудных тел сложной морфологии.

Переработка рядовых и богатых урановых руд гидрометаллургическим способом. Первоначальная технология переработки урановых руд на ГМЗ, пущенная в эксплуатацию в 1976 г., включала: крупное дробление; измельчение в мельницах ММС-7000×2300 («Каскад»); доизмельчение в шаровых мельницах МШР-3600×5000; классификацию с выделением слива, содержащего частицы класса +0,1 мм меньше 5 %; сгущение полученной рудной пульпы; ее сернокислотное выщелачивание при температуре 60 °С при остаточной кислотности 10–15 г/дм³ в присутствии окислителя (MnO₂); частичную нейтрализацию выщелоченной массы известью до pH = 2,5÷3; сорбционное извлечение урана из пульпы; нейтрализацию сбросной пульпы и ее складирование в хвостохранилище; экстракционную переличку урановых десорбатов с прокаливанием получаемых кристаллов урантрикарбоната аммония и получением в качестве готовой продукции закиси-оксида урана. Проектная схема рудоподготовки не обеспечила на ГМЗ планируемой производительности 80 т/ч по каждой из секций измельчения [10].

С тех пор осуществлены масштабные работы по техническому перевооружению и модернизации ГМЗ, существенно оптимизирована технология переработки силикатных урановых руд [10]:

- заменена футеровка мельниц «Каскад», переведенных в режим работы с дозагрузкой шаров;
- установлены дополнительные классификаторы, давшие возможность оптимально распределить материал по I и II стадиям

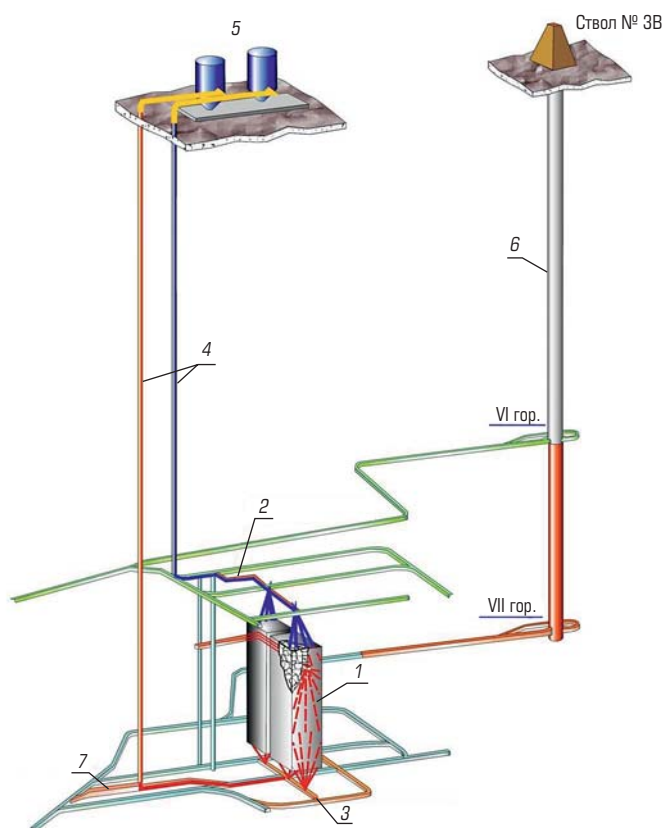


Рис. 3. Схема добычи урана методом БПВ из бедных руд на месте залегания:

- 1 — камера с раздробленной и замагазинированной беднобалансовой рудой; 2 — система орошения руды раствором серной кислоты; 3 — сборник продуктивных растворов;
- 4 — трубопроводы оборотных и продуктивных растворов;
- 5 — установка переработки продуктивных растворов;
- 6 — шахтный ствол; 7 — насосная камера

измельчения (проектная схема предусматривала подачу песков классификатора только в шаровые мельницы МШР);

- двустадийная схема гидроциклонирования заменена на одностадийную;
- шаровые мельницы с разгрузкой через решетку были переоборудованы в мельницы с центральной разгрузкой;
- модернизированные секции измельчения укомплектованы мельницами МШЦ-4500×5000;
- увеличена производительность секций, оснащенных мельницами МШЦ-3600×5000 и МШЦ-4500×5000 по расчетному классу до 100 и 115 т/ч соответственно, что позволило оптимизировать схему рудоподготовки;
- усовершенствована технология агитационного вскрытия рудного сырья, направленная на сокращение расхода серной кислоты и известняка;
- внедрен способ вскрытия урановых руд, предусматривающий следующие технологические операции: раздельное измельчение урановой и марганцевой руд; деление исходной урановой пульпы на два потока; выщелачивание железа в одном из при

$pH = 2,5 \div 3,5$; смешивание закисленного и исходного потоков рудных пульп с обеспечением в объединенном потоке величины $pH = 5,2 \div 5,4$; окисление Fe^{2+} в объединенной массе пульпы; перевод урана в раствор с вводом MnO_2 при величине pH выщелоченной пульпы 1,7–2,1 и окислительно-восстановительный потенциал — 460 мВ.

Последующее совершенствование технологии выщелачивания рудного сырья осуществлялось с целью снижения расхода MnO_2 путем более эффективного использования в процессе вскрытия урана минералов железа, содержащихся во вмещающих породах. Применение данной технологии позволило сократить расход окислителя с 10 (по проекту) до 6 кг/т, а затем до 1,8 кг/т при потреблении серной кислоты не более 105 кг/т против проектных 145 кг/т. Годовой экономический эффект составил 80–120 млн руб.

Целью последующего совершенствования гидрометаллургической переработки урановых руд является дальнейшее сокращение расхода окислителя, шаров, футеровки, флокулянта и энергозатрат.

Переработка бедных и забалансовых руд кучным выщелачиванием. Метод кучного выщелачивания (КВ) применяется на предприятии с 1996 г. В начальный период формирования рудных штабелей производилось из рудного сырья забойной крупности со средним содержанием урана 0,08 %. Извлечение урана в выщелачивающий раствор составляло 60–65 %, а время отработки штабеля — 2 года.

Однако в связи с образованием внутри штабеля прослоев из глины и шлама формировались участки с запечатанным невоскрываемым ураном. С целью интенсификации процесса инфильтрационного выщелачивания и увеличения уровня извлечения урана из бедных руд внедрена технология рециркуляции продуктивных растворов, улучшена объемная проработка штабелей растворами серной кислоты, организовано последовательное орошение рудной массы со штабелей, находящихся на стадии обработки [4, 5].

Дальнейшее существенное улучшение технико-экономических показателей КВ было достигнуто после ввода в 2006 г. в эксплуатацию рентгенофлуоресцентных сепараторов (РФС). Для укладки в штабеля начали использовать фракцию $-40+5$ мм, предварительно отмытую от глинистых частиц и шламов. Это исключило зашламовывание и кольматацию штабелей и, как следствие, увеличило извлечение урана до 75 %. В последнее время началось применение схемы додробливания рудного материала до крупности -15 мм, что позволяет увеличить уровень извлечения урана до 85 % при его содержании 0,06–0,07 % и сократить время выщелачивания до 1 года.

Повышению эффективности КВ также способствует разработанная геофизическая технология, дающая возможность по результатам электротомографии и частотного электромагнитного зондирования выявлять равномерность проработки выщелачивающими растворами рудного штабеля и управлять процессом КВ.

С 2013 г. при поддержке Министерства образования и науки РФ совместно с ЗабГУ реализуется проект по созданию комплексной технологии отработки беднобалансового уранового сырья гео-

технологическими методами, направленный на переработку забалансовых отвалов рудника № 4 в отработанном карьере «Тулукуй». Реализация этого проекта позволит расширить сырьевую базу предприятия, снизить себестоимость конечной продукции, положить начало рекультивации поверхности и карьера «Тулукуй».

Стратегия технологического развития АО «Далур»

Сырьевая база. Основы сырьевой базы предприятия составляют запасы Далматовского (4,5 тыс. т), Хохловского (4,7 тыс. т) и Добровольного (7,4 тыс. т) месторождений Зауральского ураново-рудного района. Все они пригодны для отработки методом скважинного ПВ.

АО «Далур» является полигоном испытания самых современных технологий, которые внедряются на предприятии и будут тиражироваться в АО «Хиагда».

Планирование, проектирование и управление работой рудника. Совместно с Северским технологическим институтом (СТИ НИЯУ «МИФИ») создается комплексная инновационная технология управления разработкой урановых месторождений методом СПВ, основанная на комплексном анализе геологических и геотехнологических данных на всех стадиях жизненного цикла предприятия, многовариантном моделировании геотехнологического процесса, применении интеллектуальных систем для поддержки принятия решений (рис. 4).

Комплекс включает следующие блоки.

1. **Горно-геологическая информационная система.** Предназначена для информационного обеспечения геологоразведочных работ, оперативного доступа и анализа геологических данных на стадии проектирования и разработки месторождения урана. Позволяет проводить сбор, хранение, обработку, интерпретацию и визуализацию разнородных данных о рудовмещающем горизонте, подсчет запасов различными способами.

2. **Технологическая информационная система добычного комплекса.** Предназначена для сбора, хранения, обработки и визуализации фактической информации о работе добычных полигонов предприятия; расчета геотехнологических показателей эксплуатационных блоков, залежей, месторождения, включая движение запасов; подготовки сменных, суточных и месячных отчетов. Обеспечивает сбор первичных гидродинамических и физико-химических данных по объектам добычного комплекса (результаты химических анализов, дебиты скважин, расходы химических реагентов и т. д.); расчет геотехнологических показателей по всем объектам за сутки, смену и месяц; согласование данных; подготовку сменных, суточных и месячных отчетов о работе добычного комплекса.

3. **Геотехнологическая моделирующая система.** Предназначена для выполнения геотехнологических расчетов отработки блоков с учетом гидрогеологических и геологических характеристик продуктивного горизонта, реальных режимов работы технологических скважин и составов рабочих растворов. Позволяет рассчитывать содержание урана и кислоты в продуктивных растворах по скважинам и блокам; массу извлеченного урана, степень извлечения, расход кислоты в зависимости от времени и Ж:Т;

распределения продуктивности, содержаний урана, кислоты, сульфат-иона в технологических растворах рудоносного пласта; поля напоров и скоростей движения технологических растворов. Геотехнологическая моделирующая система включает подсистему — постоянно действующую модель геотехнологического поля, позволяющую получать актуальную и адекватную пространственно-временную картину состояния продуктивного горизонта и геотехнологических процессов.

4. **Экспертно-аналитическая система.** Предназначена для поиска, предоставления, анализа и оценки всего объема информации, имеющейся в базах данных, подготовки управленческих решений, направленных на оптимизацию отработки месторождения урана СПВ. Система многофункциональная и позволяет в автоматизированном режиме проводить анализ работы скважин, осуществлять мониторинг работы технологических объектов, анализировать работу эксплуатационных блоков, выполнять корреляционный анализ данных, оптимизировать режимы выщелачивания урана на основе данных фактической эксплуатации блоков, формировать таблицы рекомендаций по изменению производительности технологических скважин, оптимизировать потоки технологических растворов, выполнять многофакторный анализ отработки блоков и прогнозировать геотехнологические показатели, планировать отработку блоков, рассчитывать экономические показатели работы добычного комплекса; выбирать наиболее эффективные схемы размещения скважин и режимы отработки эксплуатационных блоков.

Направлениями технологического развития АО «Далур» до 2020 г. является доработка Далматовского месторождения и опытно-промышленные испытания СПВ на Хохловском месторождении.

Далматовское месторождение отработано на 85 %. Оптимизация доработки запасов месторождения будет осуществляться с применением геотехнологического моделирования на основе вышеописанного комплекса. Использование этого многофункционального комплекса позволит выявлять внутри контуров эксплуатационных блоков застойные гидродинамические зоны, в которых накапливается растворенный, но не извлекаемый уран; растворенный



АО «Далур»

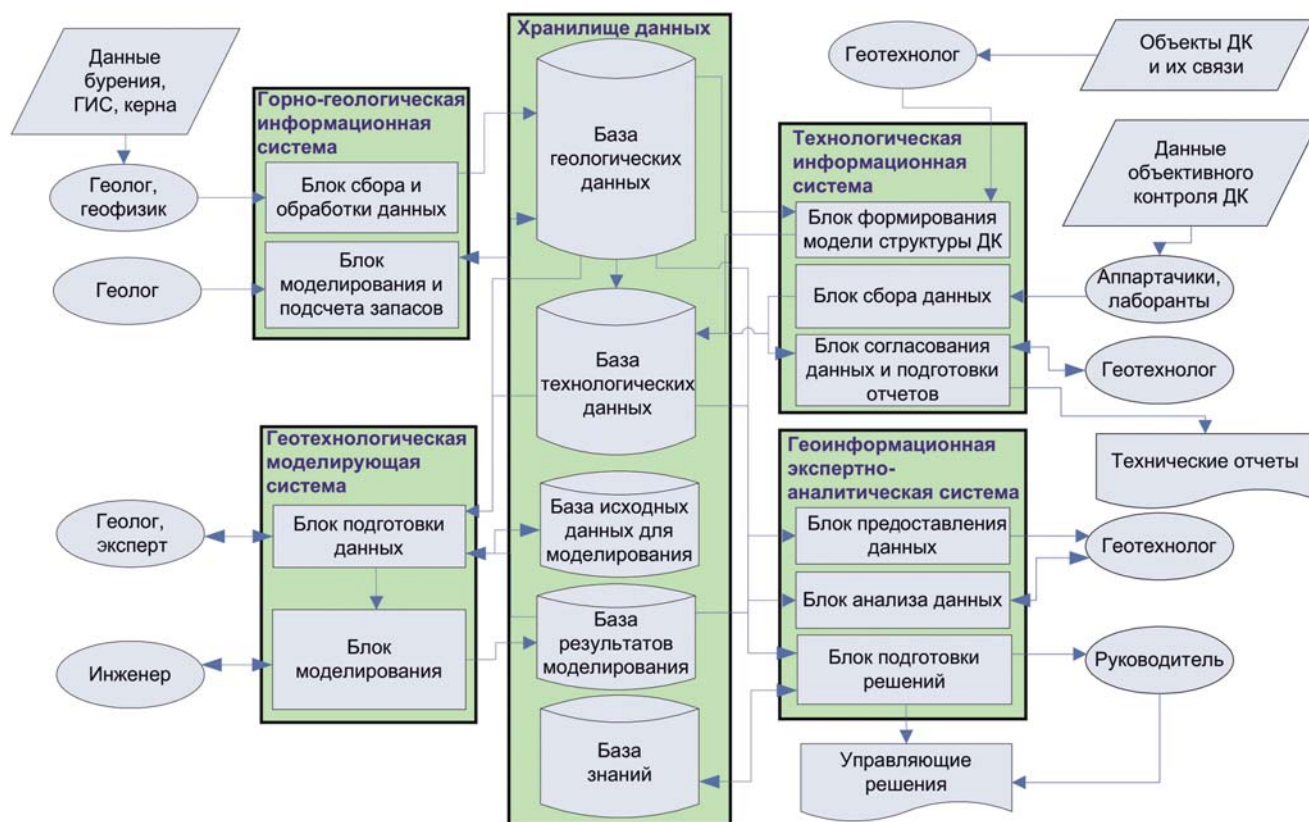


Рис. 4. Интегрированный информационно-технологический комплекс для информационного обеспечения управления разработкой месторождения урана методом СПВ

уран, находящийся за контурами эксплуатационных блоков и медленно извлекаемый из недр. Полнота освоения рудных залежей на основе результатов геотехнологического моделирования выполняется методами изменения конфигурации сети технологических скважин и реверсирования потока выщелачивающих растворов.

При проведении опытно-промышленных испытаний на месторождении Хохловское, которое подготавливается к промышленной отработке, также с использованием комплекса компьютерных программ, разработанных СТИ НИЯУ «МИФИ», составлена база геологических данных, создана геолого-математическая модель и выбрана оптимальная схема вскрытия участка рудной залежи технологическими скважинами на опытно-промышленном полигоне.

Поддержание производительности закачных скважин. В процессе отработки рудных залежей из откачных скважин выносятся глинистый коллоидный материал, а с сорбционных колонн в закачные растворы поступают обломки ионообменной смолы. Эти твердые взвеси частично осаждаются в пескоотстойниках или картах приготовления выщелачивающих растворов. Однако часть из них поступает в закачные скважины и забивает их фильтры. В результате падает производительность закачных скважин и, как следствие, откачных, поскольку нагнетание и откачка растворов ведутся при соблюдении баланса растворов. Твердые взвеси из закачных скважин удаляются эрлифтными прокачками во время ремонтно-восстановительных работ. Особенно интенсивно засоря-

ются фильтры скважин в период закисления рудных тел в эксплуатационных блоках.

Уральским федеральным университетом (УрФУ) разработаны «чулковые» фильтры, имеющие простую конструкцию, и дешевые в эксплуатации. Аналогичные фильтры применяются на рудниках СПВ в Австралии и Казахстане. Однако главным отличием данной технологии от зарубежных аналогов является то, что специалисты УрФУ нашли участок максимальной концентрации твердых взвесей — это сорбционные колонны установки, перерабатывающей продуктивные растворы (ЦППР). Ионообменная смола, являясь естественным эффективным фильтром, улавливает основной объем коллоидных частиц. Этот факт позволил значительно сократить количество фильтров и компактно разместить их в ЦППР. Очистка растворов ведется во время отмывки смолы.

Интенсификация СПВ урана с помощью окислителя. Урановые руды на гидрогенных месторождениях образуются в восстановительном геохимическом барьере. Он осаждается из природных подземных вод в зоне смены кислородной обстановки на бескислородную, окислительную — на восстановительную. Чем сильнее восстановлен уран, тем труднее он растворяется в разбавленных растворах серной кислоты [2, 5].

Исследованиями ИГЕМ РАН было доказано, что на Далматовском и Хохловском месторождениях руды характеризуются высокой степенью восстановленности урана и железа; а также отсутствует естественный окислитель четырехвалентного урана —

трехвалентное железо. В период закисления блоков СПВ длительное время (до 1 года) генерируется сероводород, затрудняющий процесс СПВ. Сероводород выводит из процесса естественный окислитель, восстанавливая F(III) до Fe(II) с образованием трудно-растворимой элементной серы, экранирующей минералы урана. Сероводород восстанавливает U(VI) до U(IV), и уран из анионной формы переходит в катионную — сорбция урана на анионите прекращается, и резко возрастают содержания урана в хвостах сорбции. Кроме того, в кислой среде сероводород очень агрессивен и корродирует технологическое оборудование из коррозионностойкой стали. В таких геохимических условиях добыча урана без применения искусственного окислителя малоэффективна.

В результате исследований, проведенных ИГЕМ РАН и УРФУ, разработана технология СПВ, в которой на стадии закисления пласта в качестве окислителя используется перекись водорода, подавляющая образование сероводорода, а на стадии отработки — нитрит натрия.

Эффективность этой технологии доказана в промышленных условиях. Содержание урана в продуктивных растворах увеличилось на 16 %. Годовой экономический эффект составил 65 млн руб.

Попутное извлечение редкоземельных металлов из растворов СПВ. В 2013 г. в АО «Далур» начаты опытные работы по попутной добыче редкоземельных металлов (РЗМ) из маточных растворов сорбции урана на Далматовском месторождении.

Редкоземельные металлы и скандий в рудах Далматовского месторождения содержатся в кларковых (фоновых) количествах. Иттрий и лантаноиды в основном присутствуют в составе акцессорных фосфатных минералов — апатита, монацита и ксенотима. Скандий в основном в виде примеси содержится в алюмосиликатных породобразующих минералах. Наиболее доступный для выщелачивающих растворов скандий содержится в глинистом материале рудоносных песков.

Прогнозные ресурсы скандия и РЗМ Далматовского месторождения, оцененные в контурах балансовых геологических блоков по категории P₁, составляют: скандий — 228,7 т при среднем содержании 6 г/т; иттрий и лантаноиды — 4247,1 т при среднем содержании 108 г/т.

В продуктивные растворы при выщелачивании серноокислыми растворами из руд переходят (в пересчете на металл): уран — до 35–36 г/м³; скандий — 1–1,5; иттрий и лантаноиды — 30–31 г/м³. Исходя из производительности действующей на Далматовском месторождении перерабатывающей установки, существует возможность ежегодно попутно с ураном извлекать из продуктивных растворов скандий в количестве 10–11 т и 300–330 т иттрия и лантаноидов.

Стратегия технологического развития АО «Хиагда»

Наиболее перспективным предприятием на территории России по объему сырьевой базы, пригодной для освоения методом СПВ, является строящийся рудник АО «Хиагда», расположенный в Баунтовском районе Республики Бурятия, в 220 км в северо-восточном направлении от г. Чита.

Сырьевая база. Предприятие базируется на запасах урановых месторождений Витимского ураново-рудного района. Ресурсный потенциал месторождений района, пригодных для отработки методом СПВ, оценивается в 105 тыс. т. Запасы и ресурсы Хиагдинского рудного поля, входящего в состав рудного района, составляют 48 тыс. т. На балансе предприятия числятся семь месторождений — Хиагдинское, Вершинное, Источное, Количиканское, Кореткондинское, Намаруское, Дыбынское с запасами 42 тыс. т.

Ключевое направление развития. Основным путем расширения производства является повышение производительности технологических скважин. В АО «Хиагда» самая низкая производительность откачных ($Q = 4,6 \text{ м}^3/\text{ч}$) и, соответственно, закачных скважин из всех рудников альянса АРМЗ и канадской компании Uranium One Inc. Ниже представлена средняя производительность откачных скважин на рудниках альянса, м³/ч.

«Заречное»	9,3
«Ақдала»	8,9
«Каратау»	8,4
«Южный Инкай-4»	7,7
«Акбастау»	7,1
«Харасан-1»	6,3
«Далур»	5,4
«Хиагда»	4,6

Главными факторами, обуславливающими низкую величину Q , являются: неравномерная и в целом слабая обводненность рудных залежей в водоносных горизонтах в палеодолинах; высокая вязкость выщелачивающих растворов из-за низкой температуры подземных вод (1–4 °С), обусловленной близким расположением сплошной многолетней мерзлоты и среднегодовой температурой воздуха –6 °С.

Повышение производительности технологических скважин возможно за счет использования двух приемов: управления с помощью гидрогеологической модели ресурсами подземных вод и снижения вязкости технологических растворов. Научно-исследовательские работы в этом направлении только планируются.



Интенсификация СПВ с помощью окислителя. Руды месторождений Хиагинского рудного поля, в отличие от руд урановых месторождений Узбекистана и Южного Казахстана, характеризуются высокой степенью восстановленности урана. Восстановленный U(IV) крайне медленно растворяется в разбавленных растворах серной кислоты. Чтобы увеличить темп его растворения, уран необходимо окислить до U(VI). Такая технология внедрена в АО «Хиагда». В качестве окислителя используется нитрит натрия.

Заключение

В представленном обзоре приведены инновационные технологии, позволяющие радикально повысить эффективность уранодобывающих предприятий и снизить средневзвешенную консолидированную себестоимость конечной продукции суммарно по всем трем предприятиям холдинга — ПАО «ППГХО», АО «Далур» и АО «Хиагда».

В целях повышения эффективности российской уранодобычи Холдингом «АО «Атомредметзолото» планируется:

- сократить уровень нерентабельной добычи урана в ПАО «ППГХО» (на бедных запасах) с одновременной реструктуризацией предприятия и значительным сокращением затрат на производство и инфраструктуру;
- сбалансированно нарастить экономически эффективную добычу урана в АО «Далур» и АО «Хиагда» с долгосрочным сохранением стабильного текущего уровня добычи.

Разработана и реализуется комплексная программа по снижению затрат и выводу ПАО «ППГХО» на безубыточность. Производственно-технологическая база для такого рывка создана: введены в эксплуатацию серноокислотный завод, рудник № 8, реализована программа ремонтов оборудования, внедрены скоростная проходка и новые способы переработки урана. Ключевым направлением является переход на новые технологии: внедрение экономически эффективного кучного выщелачивания и подземного блочного выщелачивания, что позволяет перерабатывать руду с более низкой себестоимостью в сравнении с используемым сегодня

высокозатратным гидрометаллургическим методом. Одновременно ведется оптимизация проектов по перспективным рудникам (рудники № 6 и 7) и реализуются мероприятия по поиску запасов урана с высокими содержаниями в рамках проекта «Кальдера».

Библиографический список

1. *Именитов В. Р.* Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. — М. : Недра, 1984. — 504 с.
2. *Физико-химическая геотехнология : учебник для вузов / под общ. ред. В. Ж. Аренса.* — М. : Горная книга, 2010. — 57 с.
3. *Справочник по геотехнологии урана / под ред. Д. И. Скороварова.* — М. : Энергоатомиздат, 1997. — 672 с.
4. *Черняк А. С.* Вопросы растворения: выщелачивание, экстракция. — Иркутск : ИГУ, 1998. — 403 с.
5. *Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов : В 2 т. / под ред. М. И. Фазлуллина.* — М. : Руда и металлы, 2005. Т. 1: Уран. — 407 с.
6. *Коротков В. В., Лобанов Д. П., Нестеров Ю. В., Абдульманов И. Г.* Горно-химическая геотехнология добычи урана. — М. : Геос. 2001. — 368 с.
7. *Добыча урана методом подземного выщелачивания / под ред. В. А. Мамилова.* — М. : Атомиздат. 1980. — 248 с.
8. *Овсейчук В. Л., Резник Ю. Н., Мязин В. П.* Геотехнологические методы добычи и переработки урановых и золотосодержащих руд. — Чита : ЧитГУ, 2005. — 315 с.
9. *Святецкий В. С., Морозов А. А., Гаврилов А. А.* Опыт подземного выщелачивания скальных урановых руд // Горный журнал. 2008. № 8. С. 43–46.
10. *Литвиненко В. Г., Шелудченко В. Г., Филоненко В. С.* Оптимизация крупности измельченного рудного сырья и параметров его вскрытия // Горный журнал. 2013. № 8(1). С. 44–46. **ГЖ**

*Святецкий Виктор Станиславович,
Солодов Игорь Николаевич:
e-mail: info@armz.ru*

«GORNYY ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2015, № 7, pp. 68–77

Title	Technological advancement strategy of uranium mining industry in Russia
DOI:	http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2015.07.10
Author 1	Name & Surname: Svyatetsky V. S.
	Company: ARMZ Uranium Holding Co.—Atomredmetzoloto JSC (Moscow, Russia)
	Work Position: Vice General Director—CEO
	Contacts: info@armz.ru
Author 2	Name & Surname: Solodov I. N.
	Company: ARMZ Uranium Holding Co.—Atomredmetzoloto JSC (Moscow, Russia)
Abstract	The article gives a review of technological innovations enabling dramatic increase in uranium mining efficiency and simultaneous reduction in weighted average consolidated cost of final output for all three companies within the Atomredmetzoloto Uranium Holding—Priargunsky Mining and Chemical Works, Dalur and Khiagda.
	It is planned to enhance uranium mining efficiency in Russia by means of: - reduction in nonprofitable uranium mining at Priargunsky Mining and Chemical Works (poor reserves) with concurrent restructuring of the company and considerable cut of the production and infrastructure expenditures; - well-balanced build-up of cost-effective uranium mining by Dalur and Khiagda companies with keeping the long-term sustainability of the current production level.

Abstract	An integrated program on cost-saving and break-even for Priargunsky Mining and Chemical Works has been elaborated and is under implementation. The manufacturing and technological capabilities for such a shoot forward are available: a vitriol plant and mine no. 8 are placed in commission; equipment repair program is actualized; high-speed driving and new methods of uranium processing are put to use. A key area of activity is transition to new technologies: cost-effective heap leaching and underground block leaching allows ore processing at lower cost as against the cost-consuming hydrometallurgical process currently in application. Alongside with that, promising mine projects are being optimized (mines nos. 6 and 7) and uranium-rich deposits are being explored in the framework of Kaldera project.
Keywords	Uranium deposit, uranium mining and processing, underground mining, underground hole leaching, heap leaching, expansion and modernization of uranium mining companies in Russia.
References	<ol style="list-style-type: none"> 1. Imenitov V. R. <i>Protsessy podzemnykh gornykh rabot pri razrabotke rudnykh mestorozhdeniy</i> (Deep mining processes during ore deposit mining). Moscow : Nedra, 1984. 504 p. 2. <i>Fiziko-khimicheskaya geotekhnologiya : uchebnik dlya vuzov</i> (Physical-chemical geotechnology : tutorial for universities). Under the general editorship of V. Zh. Arens. Moscow : Gornaya kniga, 2010. 57 p. 3. <i>Spravochnik po geotekhnologii urana</i> (Uranium geotechnology reference book). Under the editorship of D. I. Skorovarov. Moscow : Energoatomizdat, 1997. 672 p. 4. Chernyak A. S. <i>Voprosy rastvoreniya: vyshchelachivanie, ekstraktsiya</i> (Dissolution problems: leaching, extraction). Irkutsk : Irkutsk State University, 1998. 403 p. 5. <i>Podzemnoe i kuchnoe vyshchelachivanie urana, zolota i drugikh metallov : v dvukh tomakh. Tom 1: Uran</i> (Underground and heap leaching of uranium, gold and other metals : in two volumes. Volume 1: Uranium). Under the editorship of M. I. Fazlullin. Moscow : «Ore and Metals» Publishing House, 2005. 407 p. 6. Korotkov V. V., Lobanov D. P., Nesterov Yu. V., Abdulmanov I. G. <i>Gorno-khimicheskaya geotekhnologiya dobychi urana</i> (Mining-chemical uranium extraction geotechnology). Moscow : Geos, 2001. 368 p. 7. <i>Dobycha urana metodom podzemnogo vyshchelachivaniya</i> (Uranium extraction by underground leaching method). Under the editorship of V. A. Mamilova. Moscow : Atomizdat. 1980. 248 p. 8. Ovsyechuk V. L., Reznik Yu. N., Myazin V. P. <i>Geotekhnologicheskie metody dobychi i pererabotki uranovykh i zolotosoderzhashchikh rud</i> (Geotechnological methods of extraction and processing of uranium and gold-bearing ores). Chita : Chita State University, 2005. 315 p. 9. Svyatetskiy V. S., Morozov A. A., Gavrilov A. A. <i>Opyt podzemnogo vyshchelachivaniya skalnykh uranovykh rud</i> (Experience of underground leaching of rock uranium ores). <i>Gornyi Zhurnal = Mining Journal</i>. 2008. No. 8. pp. 43–46. 10. Litvinenko V. G., Sheludchenko V. G., Filonenko V. S. <i>Optimizatsiya krupnosti izmelchennogo rudnogo syrya i parametrov ego vskrytiya</i> (Optimization of size of ground ore raw materials and its opening parameters). <i>Gornyi Zhurnal = Mining Journal</i>. 2013. No. 8(1). pp. 44–46.

ВИКТОРУ СТАНИСЛАВОВИЧУ СВЯТЕЦКОМУ — 50 ЛЕТ



Исполнилось 50 лет Виктору Станиславовичу Святецкому — первому заместителю генерального директора — исполнительному директору АО «Атомредметзолото».

Вся трудовая деятельность В. С. Святецкого связана с уранодобывающей промышленностью России. В 1987 г. после окончания Читинского политехнического института он был направлен на Приаргунский горно-химический комбинат (ныне ПАО «ППГХО»), где прошел путь от горного мастера подземного рудника до руководителя крупнейшего уранодобывающего предприятия России.

В должности генерального директора (2008–2013 гг.) В. С. Святецкий много сделал для технического перевооружения предприятия: в рудниках был обновлен парк погрузочно-доставочных и транспортных машин, бурового оборудования.

Под руководством Виктора Станиславовича развита и усовершенствована технология получения урана методом подземного блочного и кучного выщелачивания бедных руд с существенным экономическим и экологическим эффектом.

В феврале 2013 г. В. С. Святецкий был назначен директором АО «ВНИПИпромтехнологии». Здесь он энергично начал реорганизовывать институт, превращая его в современный инжиниринговый центр.

В ноябре 2014 г. Виктор Станиславович назначен первым заместителем генерального директора — исполнительным директором

АО «Атомредметзолото» — горнорудного дивизиона госкорпорации «Росатом». Здесь по инициативе В. С. Святецкого осуществлено внедрение цеха сушки готового продукта в ЗАО «Далур» — предприятия по добыче урана методом подземного выщелачивания.

Много сил и времени В. С. Святецкий уделяет реализации проекта первого федерального подземного хранилища радиоактивных отходов вблизи г. Красноярск.

Виктор Станиславович ведет активную общественную деятельность, значительная составляющая которой — сотрудничество с «Горным журналом». По его инициативе и при непосредственном участии были подготовлены и выпущены тематические номера журнала, освещающие деятельность Приаргунского производственного горно-химического объединения и горнопромышленного комплекса Забайкальского края в целом, книги по истории и производственной деятельности ППГХО, техническая литература.

Трудовые заслуги В. С. Святецкого отмечены знаками «Шахтерская слава» трех степеней, Почетной грамотой губернатора Читинской области.

Поздравляя Виктора Станиславовича с юбилеем, желаем ему здоровья, счастья, благополучия и дальнейших успехов в работе.

АО «Атомредметзолото»
 ПАО «Приаргунское производственное
 горно-химическое объединение»,
 АО «ВНИПИпромтехнологии»,
 редколлегия и редакция «Горного журнала»