



УДК: 553.048,550.3

Исломбек ЯДГАРОВ,

Руководитель группы по внедрению стандартов оценки активов и запасов Государственного предприятия «Навоийуран»

E-mail: I.Yadgarov@navoiyuran.uz

Рецензент – Б. И. Мирходжаев заместитель начальника отдела мониторинга ресурсов и резервов ГП «Навоийуран»

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ГОСУДАРСТВЕННОМ ПРЕДПРИЯТИИ «НАВОИЙУРАН»

Аннотация

Статья посвящена внедрению технологий 3D-моделирования в процесс разработки урановых месторождений Государственного предприятия «Навоийуран». Рассматриваются основные цели и задачи внедрения 3D-моделирования, его влияние на эффективность добычи урана, а также преимущества использования современных технологий для оценки запасов и минимизации экологических рисков. Описаны методы и программные решения, применяемые в процессе 3D-моделирования, а также перспективы цифровой трансформации в отрасли.

Ключевые слова: 3D-моделирование, урановые месторождения, цифровизация, геофизика, геологоразведка, гидрогеология, экологическая безопасность, геологические модели, программные решения, оценка запасов.

3D-MODELLING OF URANIUM DEPOSITS IN THE STATE-OWNED ENTERPRISE «NAVOIURAN»

Annotation

The article focuses on the implementation of 3D-modeling technologies in the development of uranium deposits at the State-owned Enterprise «Navoiuran». The main goals and tasks of 3D-modeling, its impact on the efficiency of uranium extraction, and the benefits of using modern technologies for resource assessment and minimizing environmental risks are discussed. The methods and software solutions used in 3D-modeling are also outlined, as well as the prospects for digital transformation in the industry.

Key words: 3D-modeling, uranium deposits, digital transformation, geophysics, geological exploration, hydrogeology, environmental safety, geological models, software solutions, resource assessment.

«NAVOIYURAN» DAVLAT KORXONASIDA URAN KONLARINI 3D-MODELLASHTIRISH

Annotatsiya

Uran konlarining 3D-modelini yaratish loyihasi «Navoiuran» davlat korxonasida amalga oshirilayotgan raqamli transformatsiya jarayonlarini o'rganishga bag'ishlangan maqola. Ushbu maqolada 3D-model yaratishning asosiy maqsadlari va vazifalari, uning uran qazib olish samaradorligiga ta'siri, shuningdek zamonaviy texnologiyalarni qo'llashning foydalari haqida so'z boradi. Shuningdek, 3D-modellashtirishda qo'llaniladigan usullar va dasturiy yechimlar, shuningdek sanoatdagi raqamli transformatsiyaning istiqbollari keltirilgan.

Kalit so'zlar: 3D-modellashtirish, uran konlari, raqamli transformatsiya, geofizika, geologik izlanishlar, gidrogeologiya, ekologik xavfsizlik, geologik modellar, dasturiy yechimlar, zaxiralar baholash.

Введение. Государственное предприятие «Навоийуран» (далее – ГП «Навоийуран») было создано в январе 2022 года в рамках трансформации Государственного предприятия «Навоийский горно-металлургический комбинат». Основной задачей предприятия является добыча природного урана в Республике Узбекистан и экспорт уранового концентрата в форме закиси-оксида урана.

Освоение урановых месторождений в стране началось в 1958 году с разработки месторождения Учкудук (рисунок №1). Первоначально добыча велась открытым подземным горным способом, что было характерно для своего времени. Однако с развитием технологий на месторождениях гидрогенного песчаникового типа был внедрен инновационный метод скважинного подземного выщелачивания. Этот экологически безопасный и экономически эффективный метод применяется в стране с 1994 года.

С учетом современного курса на цифровую трансформацию ГП «Навоийуран» активно внедряет инновационные подходы к управлению ресурсами [1]. Разработка 3D-моделей месторождений урана позволяет не только повысить точность планирования добычи, но и минимизировать экологические и экономические риски [2].

Важность урановых месторождений трудно переоценить, поскольку они играют ключевую роль в обеспечении глобальной энергетической безопасности страны. Уран используется как топливо для атомных электростанций, производящих около 10% электроэнергии в мире. Применение технологий 3D-моделирования в горнодобывающей промышленности открывает новые возможности для повышения эффективности управления природными ресурсами.

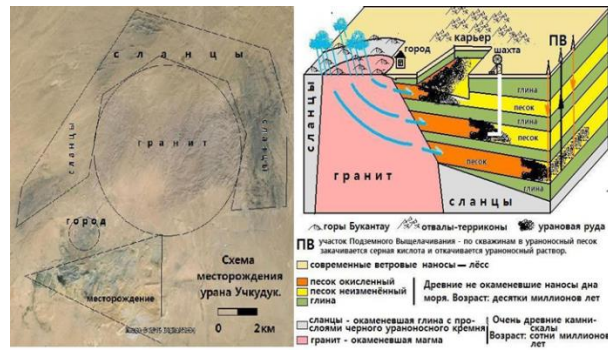


Рисунок №1. Месторождение Учкудук ("Очерк 1. С чего все началось и про уран Учкудука" Иван Минькин, 2013 год).

Обзор объекта исследования. Урановые месторождения, разработкой которых занимается ГП «Навоийуран», отличаются сложным геологическим строением. Залежи урана связаны с гидрогенными и инфильтрационными типами месторождений, которые характеризуются разнообразием литологических и тектонических условий [3]. Основными рудовмещающими породами являются песчаники, алевролиты и глины [4].

Преобладают мезозойско-кайнозойские осадочные породы, слагающие два структурных комплекса: складчатый фундамент и осадочный чехол. Глубина залегания урановых руд варьируется от 200 до 700 метров, что требует использования современных методов геологоразведки.

Подземные водоносные горизонты, расположенные на глубинах до 700 метров, играют важную роль в процессах формирования залежей. Основные водоносные комплексы относятся к меловым, палеоценовым и эоценовым отложениям.

Разнообразие форм залежей – от роллов и крыльев до мешковидных тел – в сочетании с низкоуглеродистыми породами требует использования современных программных средств для создания точных геологических моделей.

Месторождение Сугралаи. Для лучшего понимания процесса разработки урановых месторождений, рассмотрим пример одного из них – месторождения Сугралаи, которое является важным объектом для ГП «Навоийуран». Этот пример позволит более глубоко осветить особенности геологического строения, методы разработки и применения инновационных технологий, таких как 3D-моделирование, в контексте реального производства и управления природными ресурсами.

Административное положение. В административном плане месторождение Сугралаи расположено на территории Тамдынского района Навоийской области Республики Узбекистан.

Географическое положение. Месторождение Сугралаи находится в Сугралаинском рудном поле Центрально-Кызылкумской урановорудной провинции, в центральной части пустыни Кызылкум и располагается в 16 км севернее города Зарафшан. Невысокая горная гряда Тамдытау располагается в 5-15 км юго-восточнее месторождения Сугралаи. Рельеф рассматриваемого района представляет собой слабонаклоненную к северу холмистую равнину, которая расчленена сухими эрозионными долинами, заканчивающимися бессточными впадинами.

Геолого-структурное строение. В широком геолого-структурном плане Сугралаинское рудное поле находится в краевой зоне Тяньшанской альпийской орогенной области, в приосевой части Кызылкумского свода. Сугралаинское рудное поле располагается на юго-востоке Бешбулакской впадины, сопрягающейся по зоне крупных разрывов с северо-западной частью Тамдынского горста. Основными молодыми орогенными структурами района являются: Тамдынский горст, геоморфологически выражен горной возвышенностью и обрамляющие его впадины – равнины: Бешбулакская, Восточнокызылкумская и Кызылкакская. Сугралаинское рудное поле располагается на юго-востоке одной из таких впадин – Бешбулакской, сопрягающейся по зоне крупных разрывов с северо-западной частью Тамдынского горста.

Гидрогеологическая характеристика месторождения. В гидрологическом отношении площадь месторождений Сугралаи расположена в обрамлении гор Тамдытау. Горы Тамдытау являются местной областью питания водоносных горизонтов, создающей гидростатические напоры в горизонтах межпластовых вод. На северном предгорье расположен Бешбулакский артезианский бассейн, на востоке – Восточно-Кызылкумский, на юге – Кызылкумский. Сугралаинское рудное поле расположено на юго-восточном крыле Бешбулакского артезианского бассейна. На площади выделяются 5 горизонтов межпластовых вод: сарбатырский, лявляканский, туронский, сеноманский, палеозойский. На месторождениях Сугралаи и Южный Сугралаи туронский водоносный горизонт является рудовмещающим и разделяется на два водоносных подгоризонта: маастрихтский и сугралаинский. Эти два подгоризонта имеют гидравлическую связь, но отличаются по литолого-фациальному составу. Общее направление движения подземных вод от предгорий Тамдытау в северо-западном направлении к центру Бешбулакского артезианского бассейна.

Рудоносность месторождения, характеристика рудовмещающих горизонтов. Промышленное урановое оруденение на месторождении Сугралаи относится к гидрогенному осадочно-инфильтрационному типу. Генетически оруденение связано с зоной пластового окисления. В плане зона пластового окисления характеризуется извилистой границей выклинивания, образует ряд мелких заливов.

Месторождение Сугралаи расположено на площади Сугралаинского рудного поля и представлено группой рудных залежей, вытягивающихся в полосу северо-восточной ориентировки протяженностью до 75 км при ширине от 2 км до 10 км. Рудные залежи характеризуются относительно простой проявленной лентовидно-извилистой морфологией северо-восточного простирания, осложненной небольшими заливами.

В плане зона пластового окисления характеризуется извилистой границей выклинивания, образует ряд мелких заливов. Основной формой рудных залежей является ролл. Морфологическими элементами роллов являются мешковая часть и верхнее и нижнее крылья. Стратиграфически оруденение приурочено к верхней части разреза меловых отложений и локализуется в зависимости положения зоны пластового окисления либо в песках и песчаниках маастрихтского яруса, либо в нижележащих породах сугралаинского горизонта (верхний турон-нижне-сенонские отложения), а также в обоих

горизонтах одновременно. Между горизонтами существует гидравлическая связь (переток подземных вод из сугралинского горизонта в маастрихтский).

Руды месторождения залегают на глубинах от 270 м на юге и до 550 м на севере. Урановое оруденение месторождений Суграли приурочены к верхней части разреза меловых отложений и локализуется в зависимости от положения зоны окисления, либо в песках и песчаных породах маастрихтского яруса, либо в нижележащих мелко-среднезернистых песках (с линзами глин и алевролитов) сугралинского горизонта, а также в обоих горизонтах одновременно.

Цели и задачи 3D моделирования. Основные цели 3D-моделирования:

- повышение точности оценки запасов урана и контроль над их изменением в процессе разработки [5];
- оптимизация добычных процессов с учетом геологических и гидрогеологических особенностей месторождений;
- выявление ключевых факторов, влияющих на распределение полезного ископаемого;
- разработка визуальных моделей для интеграции данных, удобных для анализа и представления.

Эти задачи определяют направление цифровой трансформации отрасли и обеспечивают основу для внедрения более точных методов управления ресурсами.

Методы и технологии. Для реализации 3D-моделирования используются современные программные решения, такие как Petrel (Schlumberger), Landmark (Halliburton), Paradigm (Emerson), Roxar (Emerson) и T-navigator (RDF). Эти программы позволяют интегрировать данные из различных источников, создавать точные модели геологических структур и прогнозировать распределение полезных ископаемых.

Современные методы 3D-моделирования в горнодобывающей промышленности. Для того чтобы максимально эффективно использовать ресурсы месторождений, крайне важно точно оценивать их запасы и учитывать все геологические особенности. В этом процессе ключевую роль играют современные методы 3D-моделирования, которые позволяют создавать высокоточные геологические модели месторождений.

Использование таких технологий значительно повышает точность расчетов и способствует оптимизации всех процессов, связанных с добычей полезных ископаемых. Одним из наиболее известных программных решений для 3D-моделирования является Petrel, разработанный компанией Schlumberger, который активно используется для создания геологических моделей и анализа данных.

Преимущества 3D-моделирования для управления ресурсами. 3D-моделирование урановых месторождений имеет несколько ключевых преимуществ. Во-первых, оно позволяет существенно повысить точность планирования добычи, что особенно важно для месторождений с неравномерным распределением полезных ископаемых. Во-вторых, использование современных технологий позволяет лучше учитывать гидрогеологические особенности месторождений, что важно для предотвращения загрязнения подземных вод.

Кроме того, 3D-моделирование позволяет интегрировать данные из различных источников, включая геофизические, геологические и гидрогеологические исследования, что значительно улучшает качество анализа и прогнозирования.

Ход выполнения работ. На текущем этапе создан Департамент цифровизации и моделирования урановых месторождений. В подразделении работает команда специалистов, оснащенная современной техникой и программным обеспечением. Завершается этап оцифровки геологических карт с использованием программного комплекса ArcGIS, что обеспечило базу данных для дальнейшей работы.

Перспективы и ожидаемые результаты. Ожидается, что внедрение 3D-моделирования позволит повысить точность планирования добычи, минимизировать экологические риски и оптимизировать использование ресурсов. Кроме того, технология дает возможность интегрировать данные в реальное время, что позволяет моделям оставаться актуальными на протяжении всего жизненного цикла месторождений.

В долгосрочной перспективе создание единой цифровой базы данных компании позволит тиражировать опыт на другие месторождения и улучшить управление ресурсами на уровне отрасли.

Заключение. Проект ГП «Навоийуран» по 3D-моделированию урановых месторождений открывает новые горизонты для цифровой трансформации отрасли. Он способствует не только повышению эффективности добычи, но и развитию научного подхода к геологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириллов А. А. Основы геологии и разведки месторождений урана. – Москва: Недра, 2005.
2. Шелудько А. Н. Геофизические методы в разведке урановых месторождений. – Санкт-Петербург: Наука, 2010.
3. Петров В. В. 3D-моделирование в геологии. – Москва: ЛКИ, 2014.
4. Иванов Д. С. Геология и гидрогеология месторождений урана. – Томск: ТПУ, 2011.
5. Демидов А. И. Программное обеспечение для 3D-моделирования месторождений полезных ископаемых. – Екатеринбург: УГГУ, 2018.