

ФИЗИКОХИМИЧЕСКАТА ГЕОТЕХНОЛОГИЯ – ПРИНЦИПНО НОВО И ВОДЕЩО НАПРАВЛЕНИЕ В МИННИТЕ НАУКИ ПРЕЗ 21-ВИ ВЕК

Владимир Данов

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София

РЕЗЮМЕ. В доклада се разглеждат следните основни въпроси: принципна постановка за дългосрочното развитие на добива на твърди полезни изкопаеми (ПИ) in situ до 2500-2600 година (прогнози от САЩ и Русия), същност и промишлени мащаби на геотехнологичния добив на твърди ПИ в света и в България, физикохимическа технология като наука и главните насоки за нейното развитие през 21-ви век.

PHYSICAL AND CHEMICAL GEO-TECHNOLOGY – NEW AND LEADING DIRECTION IN MINING SCIENCE DURING THE 21ST CENTURY

Vladimir Danov

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia

ABSTRACT. In the paper are reviewed the following fundamental questions: principal formulation of the long term development of production of hard raw materials in situ up to 2500-2600 (forecasts from the USA and Russia); essence and industrial scale of the geo-technology production of hard raw materials in the World and Bulgaria; the physical and chemical geo-technology as a science and the main directions for its development during the 21st century.

I. Кратко въведение

1. Обобщена постановка за развитието на добива на твърди полезни изкопаеми по подземен и открит начин. Добивът на златни, железни, оловно-цинкови и калаени руди датира и се развива от древни времена. И на територията на днешна България древните племена и придошлиите българи са добивали руди и метали от няколко хиляди години пр. Христа.

Промишлените мащаби за добива на железни и други руди, и на въглища се зараждат в Европа през 16-17-ти век с откриването на парната машина и печатарската машина, и непрекъснато нарастват през следващите векове с развитието на локомотивния ж.п. транспорт, черната и цветната металургия, електротехниката, леката и други промишлени отрасли. Но до края на 19-ти век мащабите са твърде ограничени и са съсредоточени само в някои европейски държави, Китай и САЩ-Канада.

От началото и през целия 20-ти век бурно се развиваше все по-обхватна индустриализация, за подготовката и "вихъра" на I-та и II-та Световни опустошителни войни, за въоръжаването с ядрено-ракетни оръжия (кому бяха, кому са нужни и сега?), за развитието на атомната енергетика, космическата техника и изучаването на извънземния свят. Велики постижения – трасирали пътищата на човечеството през 21-ви век и в перспектива до 2500-2600 години!

Огромната индустриализация изискваше добив на огромни количества от всички видове твърди полезни изко-

паеми, на нефт и природен газ, на строителни и ювелирни материали, ежегодно до 150 млрд. \$ през последните десетилетия на 20-ти век.

До настоящо време на земната повърхност и в плитките слоеве на земната кора са нанесени много хиляди дълговременни (до 500-600 години) рани! Географско-климатичните условия за живота на хората са увредени в многофакторна тежка степен!

Дългосрочните прогнози на Федералния институт по енергетика, САЩ (от 1986 г. и 2000 г.) и на Руската академия по естествените науки (РЕН от 2005 г.) за добив на твърди полезни изкопаеми може да се обобщят по следния начин [2, 4, 6]:

а) Добивът на руди на черни, цветни, уран, благородни и съпътстващи редки и разсеяни метали по конвенционален подземен и открит начин ще се развива и през бъдещите столетия с откриването на нови находища, но при все по-голяма дълбочина и все по-сложни условия на залягане.

Конвенционалният добив на руди по своята комплексна технико-икономическа ефективност (включваща обогатяването и пирометалургията) става все по-скъп и ограничен от изискванията за опазване на ПСВ.

Във връзка с това е наложително ограничаването и "ликвидиране" на пирометалургията и заместването ѝ с хидрометалургични технологии още през 21-ви век.

б) Добивът на въглища и горливи шисти по конвенционален подземен и открит начин се предвижда да затихва и завърши след около 100-150 години – главно поради изчерпване на запасите в достъпните слоеве на земната кора и особено поради все по-сложните условия на залегане, и високите изисквания за опазване на ПСВ, и намаляваща икономическа ефективност.

в) Добивът на нерудни полезни изкопаеми, скалооблицовъчни и ювелирни материали, и на строителни материали ще се развива както досега, според потреблението, но с постепенно ограничаване на мащабите, поради изчерпване на определени запаси и намаляваща рентабилност, както и заради високите изисквания за опазване на ПСВ.

2. Минните науки за осигуряване на конвенционалния подземен добив на руди и въглища, от зараждането им през средните векове (идеите на Агрикола и Ломоносов) до края на 19-ти век се развиваха целенасочено и системно във Фрайбергската Минно-Металургична Академия (ММА), (1762 г., Германия) и в Санкт-Петербургската Минно-Металургична Академия (1764 г., Русия), и от средата на 19-ти век – в ММА (Краков, Полша) и ММА (Леобен, Австрия).

Минната наука за открития добив на руди и въглища се заражда в края на 19-ти – началото на 20-ти век, но се развива интензивно главно през II-та половина на 20-ти век. През целия 20-ти век и до настоящото време минните науки за конвенционален подземен и открит добив на твърди полезни изкопаеми и минно-инженерно образование се развиват в стотици университети, академични и технологични институти главно в САЩ, Канада, Англия, Германия, Франция, Русия и Китай.

Фундаменталните науки и приложните постижения в технологиите, техниката и инженерната дейност осигуряваха все по-висока технико-икономическа ефективност и нарастващи крупни мащаби на подземния и открития добив на твърди полезни изкопаеми. При това, при все по-сложни геолого-хидрогеоложки, минно-технически и географско-климатични условия, увеличаваща се дълбочина на подземните рудници (до 3000-4000 m, в ЮАР – проект до 5000 m) и на открити рудници – до 800-1000 m.

Минните науки, техниката и технологиите за конвенционален добив в дългосрочен план през 21-ви век постепенно ще достигат своя своеобразен “таван” – връх, относно главните си постижения. Този обобщен основен извод се очертава в посочените дълготрайни прогнози.

Зародилата се, преди 30-40 години, нова минно-техническа революция при добива на някои твърди полезни изкопаеми посредством принципно нови технологии доведе до развитие на принципно ново направление сред минните науки – физико-химическата геотехнология.

II. Същност, обхват и съвременно състояние на геотехнологичния добив на твърди полезни изкопаеми [4]

А. Същност, обхват и промишлени мащаби на Геотехнологичния добив на твърди полезни изкопаеми (ГТД)

Същността се характеризира в превръщане на твърдите полезни изкопаеми (п.и.) “in situ” във флуиди (разсол, метални разтвори, горивен газ, воден пулп и др.) и чрез преработката им – добив на стокови продукти на място в района на находищата.

От началото на 50-те години на 20 век до настоящо време ГТД се развиваше в бързо нарастващи промишлени мащаби! И се утвърди като 2-3-5 пъти по ефективен от конвенционалните подземен и открит добив на твърди п.и. (+ последващите сложни и скъпи технологии на преработка до стокова продукция!). При това се доказа, че екологичните задачи при ГТД са минимизирани (има само текущи, отсъстват крупните и дълготрайни до стотици години техногенни обекти) и може да се осигурява екологична безопасност при разработване на находищата.

Б. Обхват и промишлени мащаби на ГТД

1) Подземно сондажно разтваряне на солни находища, добив на разсоли и солни продукти: обобщено 90-95% от световния добив.

2) Геотехнологичен добив на уран, мед и съпътстващи редки метали, също на злато, сребро, цинк, манган и съпътстващи други метали – чрез подземно излужване на руди и на открито в изкуствени съоръжения и чрез излужване на техногенни обекти и тяхното екологично обезопасяване – пром. мащаби: над 50-60% от световния добив на уран, 30-35% от медта, значителни количества злато, сребро, цинк, манган и голяма група редки метали.

3) Подземна сондажна газификация на въглища и въглищни шисти: от 70-80 години насам, но главно след 1960 г. промишлените мащаби нарастват главно в САЩ, Русия, Украйна, Франция, Китай и др.

4) Подземно сондажно разтопяване и газификация на серни находища: главно в САЩ и Русия (но вече и в други страни) от 70-80 години насам серните находища се разработват само по тази технология, високоефективно и екологично безопасно!

5) Подземен сондажен и минен хидродобив на въглища, уранови, златни, железни и други руди: главно в САЩ, Русия, Украйна, Канада, Полша, Китай и др. Също така от 70-80 години насам, но главно след 1950-60 г. промишлените мащаби ежегодно нарастват и понастоящем са значителни.

6) Сондажен добив на земна топлина във вид на воднопаров флуид от находища на геотермални аномалии и от голяма дълбочина в земната кора: съществуват Геоелектроцентрали в над 120 страни (водещи САЩ, Русия, Италия, Германия, Китай): чрез сондажни системи се разработват (все още и само) находища на високотемпературни подземни води, но се експериментират и системи за добив на земна топлина от скалните масиви на дълбочина 3-5 km!

7) Други разновидности на Физико-химическата геотехнология [2] (с начални промишлени мащаби и дългосрочни

перспективи!): Термо-химически и термо-динамични методи при разработване на находища на тежък нефт, битуми и други каустобиолити, Добив на метали и други полезни елементи от природни минерални води и от техногенни води от рудната, химическата, металургичната и нефтената промишленост. Развиват се водещо в САЩ, Русия и някои други страни.

В. Увреждането на земната повърхност и природните води при геотехнологичното разработване на находища на твърди полезни изкопаеми или не се допускат или са минимизирани само по ограничени компоненти на ПСВ и са напълно възстановими при незначителни разходи – до 10-15% от себестойността.

За разлика от конвенционалните подземни и открит начин на разработване: 1) рудници – огромни насипища, зони на обрушаване, замърсени руднични води; 2) обогатителни фабрики – крупни отпадъчни стопанства; 3) металургични заводи - други отпадъчни стопанства и замърсени води; 4) ТЕЦ на въглища – нови отпадъчни стопанства и огромни количества вредни газове в атмосферата. при това посочените увреждания са дълготрайни – до десетки и стотици години и изискват постоянен мониторинг и значителни ресурси за екологичното им обезопасяване; за някои екологични увреждания това е невъзможно!

Г. Идеите за новите методи за добив на твърди полезни изкопаеми [2] датират от края на 19-ти и началото на 20-ти век: Менделеев (Русия) през 1888 г. развива идеята за подземна газификация на въглищни пластове и добив на горивен газ за битови нужди; Франк (САЩ) през 1891 г. дава идеята за подземно разтопяване на сярно находище и добив на сяра (стопилка); през 1903 г. Обручев (Русия) разработва идеята за добив на земна топлина (от горещи води) за промишлени нужди и за подземно разработване на соли и добив на сол.

Практическата реализация на тези идеи започва през периода 1920-40 г. чрез промишлени експерименти в Русия, САЩ и Германия.

Но промишленото развитие на геотехнологичния добив на твърди полезни изкопаеми и земна топлина (вж. I,Б) започна от 1950-60 г. насам с ежегодно нарастващи мащаби в много и много страни.

Това развитие се дължи на целенасочените комплексни теоретични и научно-приложни изследвания на принципно новите технологии и системи за добив на флуиди от полезни изкопаеми и превръщането им в стокови продукти "in situ" в находищата.

В България такива изследвания се извършваха през периода 1965-1990 г. в ДФ "Редки метали" по добив на уран, през 1965-75 г. съвсем ограничено в КНИПИ "Нипроруда", по добив на мед и през периода 1973-95 г. в МГУ "Св. Иван Рилски", главно в обучението на инженери-геотехнолози (1982-95 г.).

Започна изграждането и развитието на принципно новото направление в минните науки – физико-химическата геотехнология (или просто геотехнология).

III. Физико-химическата геотехнология като наука

Днес, в началото на 1-ви век минната промишленост в света (и в България, разбира се) е в своеобразно кризисно състояние на конвенционалния подземен и открит добив на твърди полезни изкопаеми.

От една страна потреблението на полезни изкопаеми непрекъснато нараства. От друга страна конвенционалния добив на твърди полезни изкопаеми се извършва (преобладаващо) от все по-бедни находища и при все по-сложни геолого-хидрогеоложки и минно-технически условия, с нарастваща себестойност и утежняващи се трудови условия на миньорите.

От трета страна минните науки и техника за конвенционален подземен и открит добив, въпреки изключително високото си ниво, все по-ограничено могат да осигуряват изискванията за рационално разработване, рентабилност (възможно по-висока печалба?) и особено важно – за осигуряване високите изисквания за опазване на ПСВ и безопасност на живота на хората.

Преодоляването (изходът) от това крупно-мащабно кризисно състояние при усвояване на подземните богатства изискваше принципно нови начини на разработване на находищата на полезни изкопаеми, т.е. доведе до зараждането и развитието през II-та половина на 20-ти век до настоящата научно-техническа революция в минното дело – до геотехнологичния добив на твърди полезни изкопаеми "in situ" с 2-5 пъти по-висока икономическа ефективност, екологична безопасност, усвояване на все по-бедни и в сложни условия на залягане находища.

Физико-химическата геотехнология вече е утвърдена нова минна наука! Тя изучава условията, процесите, техническите средства и начини (системи) на разработване на твърди полезни изкопаеми за привеждането им в подвижно състояние и добив на флуиди "in situ" чрез масообменни химически, физически, физико-химически, топлинни и хидродинамични процеси в комплексна зависимост от минералогични, геоложки, хидроложки и минно-технически фактори, при непрекъснато иновационно развитие на научно-техническите задачи за разширяване и усъвършенстване на геотехнологичния добив.

Геотехнологията има интердисциплинарен характер [2]. Защото нейните методи за изследване и създаване на технологии за добив на флуиди от полезни изкопаеми и на технологии за тяхната преработка до стокови продукти "in situ" съдържат теоретични и приложни знания от много други науки, органично "вплетени" в геотехнологията:

- геоложки (минералогия и петрография, геоморфология, седиментология, проучване, хидрогеология, геофизика, сондиране и др.);
- химически науки (органична и неорганична, физико-химия, аналитична);

- физически науки (електрично и микровълново поле, електротехника, автоматика, механика, газо- и хидродинамика) и др.;
- биологични науки (микробиология, генетика и селекция на микроорганизми, биохимия) и др.;
- аграрни (обработваеми и горски земи и почви, рекултивация, растителна защита и др.);
- минни науки за конвенционален подземен и открит добив (прокарване на минни изработки, пробиване и съоръжаване на технологични сондажи, взривни работи, механика на скалите, скален натиск, устойчивост на откоси, минни машини, минна електротехника и автоматизация, руднична вентилация и техническа безопасност, рудничен водоотлив, минна икономика и др.);
- науки за екологията (опазване и възстановяване на земната повърхност, опазване на повърхностните и подземни води, рециклиране и оползотворяване на техногенни твърди и течни отпадъци, мониторинг и др.);

Основните съставни части на Геотехнологията и тяхното съдържание са представени в таблица 1.

Таблица 1

Основни части (раздели)	Съдържание
Учение за минната среда (геотехнологични обекти)	Характеристика на минната среда (обекта), полезното изкопаемо, скалния масив. Методи и средства за геотехнологични изследвания и оценка на обекта. Микробиологични въздействия. Физико-геоложки условия на залегане и фактори за геотехнологично разработване на обекта.
Физико-химични основи на въздействие на минната среда (обекта)	Основи на учението за химически и физически превръщания при взаимодействие на работните агенти с обекта. Теория на процесите на движение на работни и продуктивни флуиди в находището (техногенния обект). Технологични основи на процесите и техническите системи за добив на продуктивни флуиди. Технологични основи на процесите и техническите системи за преработка на продуктивни флуиди.
Учение за физико-химическите методи на геотехнологията	Теория на проектирането на геотехнологични предприятия за находища и техногенни обекти. Разкриване и подготовка на находищата. Подготовка на техногенните обекти. Системи на разработване. Средства за добив и управление. Икономически, екологични и социални аспекти на геотехнологията.

Обектите (минната среда) са находищата на твърди полезни изкопаеми и техногенните суровини от минната, металургичната, химическата и други промишлени отрасли.

Главната дългосрочна цел на геотехнологичната наука е непрекъснато усъвършенстване на съществуващите геотехнологични методи и създаване на нови за постепенно разширяване на мащабите и усвояване на все повече видове твърди полезни изкопаеми.

За поэтапно реализиране на главната цел през 21-ви век е необходимо комплексно развитие на теорията на физико-химическата геотехнология, която да обхваща нови

идеи и иновационни задачи за изясняване механизмите и закономерностите на геотехнологичните масообменни процеси и техническите системи

Системно и целенасочено геотехнологията се развива след II Световна война главно и водещо в САЩ и Русия. В САЩ центърът за това развитие е Масачузетския технологичен институт с участието на множество научни центрове и лаборатории в други университети и минни корпорации в редица щати. От 1977 г. се издава геотехнологичното списание "In Situ". Обучението на инженери-геотехнолози и докторанти се изпълнява по заявки от корпорациите с техни средства.

В Русия, в началото на 60-те години в Института по минно дело при АН-СССР се създава направлението "Физико-химически методи за добив на полезни изкопаеми" и в Московския минен институт – катедра с учебни дисциплини в това направление за специалност "Разработване на полезни изкопаеми". През 1971 г. в Московския геологопроучвателен институт се открива специалност "Геотехнология на рудите" за редовно и задочно обучение на минни инженери-геотехнолози за добива на уран, редки и благородни метали по новата технология. От 2003 г. в Москва е създадена Руска Академия на естествените науки. Към нея работи Институт по геотехнология в целия ѝ обхват.

След войната започнаха и се развиват геотехнологични изследвания и в редица други страни: ФР Германия, Англия, Франция, Чехословакия, Полша, България, Италия, Унгария, Китай, Канада и др. страни – ограничена само по отделни видове полезни изкопаеми.

IV. Главни насоки за развитие на Геотехнологията в бъдеще

Обектите за изследвания, опитно-промишлени работи и внедряване на ГТД на нови видове полезни изкопаеми са, както следва:

- 1) Подземно разтваряне на находища на бишофит, глауберови соли, сода.
- 2) Подземно излужване на находища на манган, сулфидни руди на мед, олово, цинк, никел, на руди с титан, живак, редки и разсеяни метали, на редкоземни елементи.
- 3) Подземна газификация на въглища и въглищни шисти, тежък битум.
- 4) Сондажен хидродобив на уранови руди, въглища, боксити, разсипи на злато, диаманти, фосфорити и др.
- 5) Рудничен хидродобив на въглища, железни руди и др.
- 6) Сондажен добив на земна топлина от земната кора на дълбочина до 3000-5000 m.
- 7) Добив (оползотворяване) на метали от твърди техногенни суровини от рудата и металургичната промишленост с главна цел тяхното екологично обезопасяване.
- 8) Добив (оползотворяване) на метали от отпадни води от рудници, металургически и химически заводи

с главна цел тяхното почистване от тежки метали и сулфати до III-II категория.

За България през близките години и в перспектива до 2040-60 година – актуални са обектите и задачите в т.т. 2, 3, 6, 7 и 8.

Приоритетни са задачите за възстановяване на геотехнологичния добив на уран, вероятно през 2014-2015 г. (вж. М.Д., 1, 2009).

Другите приоритетни и особено важни задачи е да започне изграждането на "Комплексна лаборатория за геотехнологични изследвания" и обучението на инженер-геолози в Минно-геоложкия университет "Св.Иван Рилски".

Постановка за други актуални задачи:

1) Повишаване на технико-икономическата ефективност на сондажния разсолдобив в находище "Мирово" (Фирма "Провадсол" АД):

- Внедряване на съоръжения и технология за електромагнитна интензификация на солдобива в подземните добивни камери.
- Геомеханична оценка и технико-икономическа обосновка на нови варианти на камерно-стълбовата система на разработване (със запълване, сдвоени камери и др.) с цел намаляване размерите на междука-

мерните целици и увеличаване степента на извличане на запасите (от ~ 0,25 сега) до 0,35-0,45.

2) Усвояване на технологията за подземна газификация на въглищни пластове и въглищни шисти:

- Лабораторни изследвания за обосновка на технологията за газификация и добив на горивни газове от въглища и шисти.
- Техничко-икономическо проучване и обосновка на възможностите за ефективна подземна газификация в Бобовдолския, Добруджанския и други басейни, и на въглищните шисти в югоизточна България.

Литература

- Аренс, В. Ж. 1986. *Скважинная добыча полезных ископаемых*. М., Недра, 279 с.
- Аренс, В. Ж. 2001. *Физико-химическая геотехнология*. М., 650 с.
- Данов, В. 2006. *Нетрадиционни методи за добив на твърди полезни изкопаеми (Геотехнология)*. МГУ "Св. Иван Рилски", 210 с.
- Gardner, G., M. Rittie. 1967. New method of uranium ore leaching in situ. E-M. J, 21 p.
- Geotechnology*. 1992. Conference in Massachusetts, 501 p.
- Sullivan, J. 1983. *Chemical and Physical Features of Cooper Leaching*. M-M.E., 67 p.

Препоръчана за публикуване от Катедра "Подземно разработване на полезни изкопаеми", МТФ