

## 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. t 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 (РЕАН 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 ПВС.

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 доказва, 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 водно-паров 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 подземен 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 сярна (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-геотехнологи (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 залежване 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 направление "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 междуква-

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. Ritcie. 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