

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
SATBAYEV UNIVERSITY
МЕТАЛЛУРГИЯ ЖӘНЕ КЕН БАЙЫТУ ИНСТИТУТЫ

ISSN 2616-6445 (Online)
ISSN 2224-5243 (Print)
DOI 10.31643/2018/166445

**Минералдық
шикізаттарды
кешенді пайдалану**

—••••— **1 (316)** —••••—

**Комплексное
Использование
Минерального
Сырья**

**Complex
Use of
Mineral
Resources**

**ҚАҢТАР - НАУРЫЗ 2021
JANUARY - MARCH 2021
ЯНВАРЬ - МАРТ 2021**

**ЖЫЛЫНА 4 РЕТ ШЫҒАДЫ
QUARTERLY JOURNAL
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД**

**ЖУРНАЛ 1978 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ
JOURNAL HAS BEEN PUBLISHING SINCE 1978
ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1978 ГОДА**

АЛМАТЫ 2021

Б а с р е д а к т о р техника ғылымдарының докторы, профессор **Багдаулет КЕНЖАЛИЕВ**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Тех. ғыл. канд. **Ринат АБДУЛВАЛИЕВ**, Metallургия және Кен байыту институты, Қазақстан;
Ph.D, профессор **Ата АҚЧИЛ**, Сулейман Демирел университеті, Испарта, Түркия;
Ph.D, доцент **Рухола АШИРИ**, Исфахан технологиялық университеті, Исфахан, Иран;
ҚР ҰҒА академигі, профессор **Абдуали БАЕШОВ**, Қазақстан;
Тех. және физ.-мат. ғыл. др. **Валерий ВОЛОДИН**, Metallургия және Кен байыту институты, Қазақстан;
Тех. ғыл. др., доцент **Нурхадиянто ДИДИК**, Джокьякарта мемлекеттік университеті, Индонезия;
ҚР ҰҒА академигі, профессор **Мұрат ЖҰРЫНОВ**, Қазақстан;
Химия ғылымдарының докторы **Лариса ЗЕМСКОВА**, Химия институты, Владивосток, Ресей;
Химия ғылымдарының кандидаты **Александр КАСИКОВ**, Ресей ғылым академиясы, Апатити, Ресей;
Хим. ғыл. др. **Зулхаир МАНСУРОВ**, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан;
PhD, доцент **МД Азри Отхуман МИДИН**, Малайзия ғылым университеті, Гелугор, Малайзия;
Ph.D, профессор **Бражендра МИШРА**, Вустер Политехникалық институты, Вустер, АҚШ;
Ph.D, профессор **Эль-Сайед НЕГИМ**, Ұлттық зерттеу орталығы, Каир, Египет;
Ph.D, доцент, **Мухаммад НУРАЗЛАН**, Сұлтан Идрис атындағы білім беру университеті, Перак, Малайзия;
Тех. ғыл. др. **Анатолий НИКОЛАЕВ**, Наноматериалдарды зерттеу орталығы, Апатити, Ресей;
Ph.D, профессор **Димитар ПЕШЕВ**, Химиялық технология және металлургия университеті, София, Болгария;
Ph.D, профессор **Сергей ТАРАСОВ**, Күш физикасы және материалтану институты, Томск, Ресей;
RFA академигі, профессор **Валентин ЧАНТУРИЯ**, Мәскеу, Ресей;
Техника ғылымдарының докторы, профессор **Арман ШАХ**, Сұлтан Идрис білім беру университеті, Малайзия.

Ж а у а п т ы х а т ш ы

Гулжайна Касымова

Редакция мекен жайы:

Металлургия және кен байыту институты
050010, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,
Шевченко к-сі, Уәлиханов к-нің қиылысы, 29/133,
Fax. +7 (727) 298-45-03, Tel. +7-(727) 298-45-02, +7 (727) 298-45-19
E mail: journal@kims-imio.kz, product-service@kims-imio.kz
www.kims-imio.kz

«Минералдық шикізаттарды кешенді пайдалану» журналы ғылыми жұмыстардың негізгі нәтижелерін жариялау үшін Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрілігінің Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған ғылыми басылымдар тізіміне енгізілді.

Меншік иесі: «Металлургия және кен байыту институты» АҚ

Журнал Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникация министрлігінің Байланыс, ақпараттандыру және бұқаралық ақпарат құралдары саласындағы мемлекеттік бақылау комитетінде қайта тіркелген

2016 ж. 18 қазандағы № 16180-Ж Куәлігі

© «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, 2021

Editor-in-chief Dr. Sci. Tech., professor **Bagdaulet KENZHALIYEV**

Editorial board:

Cand. of Tech. Sci. **Rinat ABDULVALIYEV**, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Kazakhstan;
Ph.D. **Ata AKÇİL**, Professor of Engineering Faculty, Isparta, Turkey;
Ph.D **Rouhollah ASHRI**, associate professor of Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran;
Academician of Kazakh Republic National Academy of Sciences **Abduali BAESHOV**, Kazakhstan;
Dr. Tech., Phys-math. Sci., professor **Valeryi VOLODIN**, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Kazakhstan;
Dr.Sci.Tech., **Nurhadiyanto DIDIK**, associate professor of Yogyakarta State University, Yogyakarta, Indonesia;
Academician of Kazakh Republic National Academy of Sciences **Murat ZHURINOV**, Kazakhstan;
Dr.Sci.Chem. **Larisa ZEMSKOVA**, Institute of Chemistry FEB RAS, Vladivostok, Russia;
Cand.Chem.Sci. **Alexander KASIKOV**, professor of Institute of Chemistry Kola Science Centre, Apatity, Russia;
Dr.Sci.Chem. **Zulhair MANSUROV**, professor of Al Farabi Kazakh National University, Kazakhstan;
Ph.D. **MD Azree Otuman MIDIN** associate professor of University Sains Malaysia, Penang, Malaysia;
Ph.D. **Brajendra MISHRA**, Professor of Metallurgical & Materials Engineering Department, Colorado, USA;
Ph.D. **El-sayed NEGIM**, Professor of National Research Centre, Cairo, Egypt;
Ph.D, **Muhammad NOORAZLAN**, associate professor of Sultan Idris Education University, Perak, Malaysia;
Dr. of Tech. Sci. **Anatoliy NIKOLAEV**, Nanomaterials Research Centre Kola Science Centre, Apatity, Russia;
Ph.D **Dimitar PESHEV**, professor of University of Chemical Technology and Metallurgy, Sofia, Bulgaria;
Ph.D **Sergei TARASOV** professor of Institute of Strength Physics and Materials Science, Tomsk, Russia;
Academician of Russian Academy of Science **Valentin CHANTURIYA**, Moscow, Russia;
Dr.Sci.Tech. **Arman SHAH**, professor of Universiti Pendidikan Sultan Idris, Tanjong Malim, Malaysia.

Executive secretary

Gulzhaina Kassymova

Address:

Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation
29/133 Shevchenko Street, corner of Ch. Valikhanov Street,
Almaty, 050010, Kazakhstan
Fax. +7 (727) 298-45-03, Tel. +7-(727) 298-45-02, +7 (727) 298-45-19
E mail: journal@kims-imio.kz, product-service@kims-imio.kz
www.kims-imio.kz

The Journal has been included in the list of issues approved by the Control Committee in the Sphere of Education and Science of Republic Kazakhstan, Education and Science Ministry for publication of scientific research results (dissertations).

Owner: "Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation" JSC

The Journal was re-registered by the Committee for State Control in the Sphere of Communication, Information and Mass Media of the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan.

Certificate № 16180-Ж since October 18, 2016

Главный редактор доктор технических наук, профессор **Багдаулет КЕНЖАЛИЕВ**

Редакционная коллегия:

Кандидат химических наук **Ринат АБДУЛВАЛИЕВ**, Институт Metallургии и Обогащения, Казахстан;
Ph.D, профессор **Ата АКЧИЛ**, Университет Сулеймана Демиреля, Испарта, Турция;
Ph.D, доцент, **Рухола АШИРИ**, Исфаханский технологический университет, Исфахан, Иран;
Академик НАН РК, профессор **Абдуали БАЕШОВ**, Казахстан;
Доктор технических и физ.-мат. наук **Валерий ВОЛОДИН**, Институт Metallургии и Обогащения, Казахстан;
Др. тех. н., доцент **Нурхадиянто ДИДИК**, Джокьякартский государственный университет, Индонезия;
Академик НАН РК, профессор **Мурат ЖУРИНОВ**, Казахстан;
Др. хим. н. **Лариса ЗЕМСКОВА**, Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Россия;
Кан. хим. н. **Александр КАСИКОВ**, Институт химии имени Тананаева, Апатиты, Россия;
Др. хим. н., проф. **Зулхаир МАНСУРОВ**, Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Казахстан;
PhD, доцент **МД Азри Отхуман МИДИН**, Научный Университет Малайзии, Гелугор, Малайзия;
Ph.D, профессор **Бражендра МИШРА**, Вустерский политехнический институт, Вустер, США;
Ph.D, профессор **Эль-Сайед НЕГИМ**, Национальный исследовательский центр, Каир, Египет;
Ph.D, доцент, **Мухаммад НУРАЗЛАН**, Образовательный университет Султана Идриса, Перак, Малайзия;
Др. тех. н. **Анатолий НИКОЛАЕВ**, Центр исследования наноматериалов, Апатиты, Россия;
Ph.D, профессор **Димитар ПЕШЕВ**, Университет химической технологии и металлургии, София, Болгария;
Ph.D, профессор **Сергей ТАРАСОВ**, Институт физики прочности и материаловедения, Томск, Россия;
Академик РАН, профессор **Валентин ЧАНТУРИЯ**, Москва, Россия;
Кан. хим. н., проф. **Арман ШАХ**, Педагогический университет Султана Идриса, Танджунг Малим, Малайзия.

Ответственный секретарь

Гулжайна Касымова

Адрес редакции:

Институт Metallургии и Обогащения
050010, Республика Казахстан, г. Алматы,
ул. Шевченко, уг. ул. Валиханова, 29/133,
Fax. +7 (727) 298-45-03, Tel. +7 (727) 298-45-02, +7 (727) 298-45-19
E mail: journal@kims-imio.kz, product-service@kims-imio.kz
www.kims-imio.kz

Журнал «Комплексное использование минерального сырья» включен в Перечень научных изданий, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (ККСОН МОН РК) для публикации основных результатов научной деятельности.

Собственник: АО «Институт металлургии и обогащения»

Журнал перерегистрирован в Комитете государственного контроля в област и связи,
информатизации и средств массовой информации
Министерства информации и коммуникации Республики Казахстан
Свидетельство № 16180-Ж от 18 октября 2016 г.

© АО «Институт металлургии и обогащения», 2021



UDC 669.21/.23

DOI: 10.31643/2021/6445.01



IRSTI 53.37.33

Ore treatment hydrogen peroxide during heap leaching of gold

^{1,2*} Yessengarayev Ye.K., ^{2,3} Surimbayev B.N., ¹ Baimbetov B.S., ⁴ Mamyachenkov S.V., ⁵ Kanaly T.S.

¹ Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

² The Branch of the RSE «NC CPMS RK» State Scientific-Industrial Association of Industrial Ecology «Kazmekhanobr», Almaty, Kazakhstan

³ Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

⁴ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

⁵ National Center for Integrated Processing of Mineral Raw Materials of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

* Corresponding author email: y.yessengarayev@stud.satbayev.university, esengaraev_erlan@mail.ru

ABSTRACT

Over the past century, many problems have been focused on the problems of low leaching rate of gold and methods have been developed to intensify the leaching of gold. Among these methods, the use of hydrogen peroxide to accelerate the leaching of gold is known. In order to intensify the leaching process, the indicators of cyanide leaching of gold from ore using hydrogen peroxide were studied. This article presents the results of assay-gravimetric, chemical, and mineralogical analyses of gold-bearing ore from the Sari Gunay Deposit (Iran). The content of sulfide sulfur ore belongs to the category of low-sulphide, by oxidation of sulphur (50.70%) to the category of oxidized ores. Thermodynamic analysis of possible reactions of ore components with hydrogen peroxide is carried out. Laboratory studies on cyanide leaching of gold have shown that the maximum recovery of gold is 52.92% at a concentration of hydrogen peroxide of 0.5%, the recovery of gold without ore treatment is 52.03%. The results of laboratory and column tests with and without treatment with hydrogen peroxide (H₂O₂-0.5%) were compared. Treatment of gold-bearing ore with hydrogen peroxide during heap leaching of gold increases gold recovery by 1.2% and amounts to 55.89%, without treatment - 54.69%. This increases the consumption of sodium cyanide by 0.04 kg/t.

Keywords: heap leaching gold, heap leaching intensification, gold leaching, hydrogen peroxide, oxidizer, gold.

Received: 30 December 2020
Peer reviewed: 25 January 2021
Accepted: 09 February 2021

Information about authors:

Yessengarayev Yerlan Kairatovich

- PhD student of Satbayev University, Almaty, Kazakhstan; - Researcher, Laboratory of precious metals, The Branch of the RSE «NC CPMS RK» State Scientific-Industrial Association of Industrial Ecology «Kazmekhanobr», Almaty, Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0001-8487-7464>, Email: y.yessengarayev@stud.satbayev.university, esengaraev_erlan@mail.ru.

Surimbayev Bauyrzhan Nurzhanovich

- PhD, Senior Researcher, Laboratory of precious metals, The Branch of the RSE «NC CPMS RK» State Scientific-Industrial Association of Industrial Ecology «Kazmekhanobr», Almaty, Kazakhstan; - Senior Lecturer, Chair of Analytical, Colloid Chemistry and Technology of Rare Elements, Department of Chemistry and Chemical Technology, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0002-3988-8444>, Email: surimbaev@gmail.com, bauyrzhan.surimbayev@kaznu.kz

Baimbetov Bolotpai Sagynovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0003-4442-5038>, Email: b.baimbetov@satbayev.university

Mamyachenkov Sergey Vladimirovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair, Department of Non-Ferrous Metallurgy, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia; <https://orcid.org/0000-0003-4442-5038>, Email: b.baimbetov@satbayev.university

Kanally Temirbek Serikuly

Junior researcher, Laboratory of physical and analytical methods, Almaty, Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0002-6465-9010>, Email: mr_temirbek_ks@mail.ru.

Introduction

The technology of heap leaching of gold-bearing ores has been known for about a hundred years and undoubtedly has positive aspects, namely [1]:

- low investment;

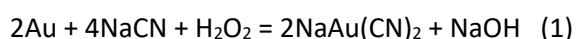
- reduced terms of preparation of production;
- low cost of extracting a valuable component;
- the possibility of developing small ore deposits that are economically inexpedient to develop using the traditional factory method;
- fast payback of projects;

- high labor productivity with a minimum number of workers;
- lack of energy-intensive and material-intensive operations.

Over the past century, many problems have been directed towards the low rate of gold leaching and methods have been developed to intensify gold leaching [2-4].

Among these methods, the use of hydrogen peroxide to accelerate the leaching of gold is known [5-9]. Hydrogen peroxide was mainly used for detoxification of waste water and neutralization of waste heaps [10-12] and for oxidation during intensive cyanidation of gold [13-15].

The reaction of dissolution of gold in the presence of hydrogen peroxide can be represented as follows [5-9]:



The more active the oxidizing agent, the higher its oxidizing capacity and concentration in the leach solution, a high degree of oxidation rate should be expected. At the same time, with a sufficient oxidation potential, for example, in the presence of hydrogen peroxide, in addition to gold, cyanide can also be oxidized [16]:



The above reaction is the chemical basis of a widely used method for neutralizing waste cyanide solutions. Thus, the introduction of an oxidizing agent, stronger than oxygen, which is the basis for the acceleration of cyanide leaching, itself has a limitation. It is quite obvious that the limiting factor is the redox potential of the leaching system. This parameter should ensure the intensification of gold oxidation (reaction (1), in which oxidative decomposition of cyanide becomes possible (reaction (2)) [17].

In this research paper, in order to intensify the leaching process, the indicators of cyanide leaching of gold from ore using hydrogen peroxide were studied for the first time.

Experimental part and discussion of results

Gold ore from the Sari Gunay deposit (Iran) was used for research. According to the results of assay analysis, the average gold content in the ore is 2.90 g/t [18-20]. The chemical composition of the ore is represented by the following components in, %: Cu 0.009, Zn 0.0082, Ni 0.0003, Pb 0.108, Mn 0.0005,

Co 0.0003, Cr 0.0013, Mo 0.0001, Hg 0.0025, As 0.11, Sb 0.0563, K₂O 7.30, Na₂O 1.34, SiO₂ 61.4, Al₂O₃ 19.7, TiO₂ 0.49, MgO 0.80, CaO 0.31, P₂O₅ 0.21, Fe total 2.67, Fe oxidized 0.44, Fe sulfide 2.23, S total 1.48, S sulfide 0.73, S sulfate 0.75. Mass fraction of total sulfur is 1.48%; that of sulfide sulfur is 0.73. The ore belongs to the low-sulfide category by the sulfide sulfur content and to the category of oxidized ores by the sulfur oxidation level (50.7%). A special feature of the rock is a negligible content of total iron (2.67%), while iron sulfide (2.23%) is mainly bound up with pyrite [20].

Mineralogical analysis has established that the gold in the sample is, in the main mass, in the form of dispersed grains (no more than 2 microns) and inclusions in hydroxides, iron oxides and skorodite. The mineralogical composition of the ore of the Sari Gunay deposit is presented in Table 1.

Table 1 - Mineralogical composition of the ore from the Sari Gunay deposit

Minerals	Mass fraction, %
Rock-forming minerals	
Quartz	23.0
Orthoclase	30.0
Plagioclase	6.0
Hydromica	28.0
Biotite	2.0
Chlorite	1.0
Kaolin	1.0
Gypsum	<1.0
Ore minerals	
Jarosite	2.0
Magnetite, Haematite	1.0
Iron hydroxide	<2.0
Scorodite	2.0
Cinnabar	Isolated grains
Metacinnabar	Isolated grains
Sulphides	
Pyrite	1.0
Arsenopyrite	Isolated grains
Galena	Isolated grains
Total	100.0

In the research paper of a number of authors [21-24], it is proposed to use oxidizing agents such as hydrogen peroxide and others to open gold particles associated with metal sulfides. In this case, peroxide solutions are added directly to the cyanide leaching solution. The thermodynamic analysis of the reactions (Table 2) shows that the addition of such a strong oxidizer as hydrogen peroxide directly to the cyanide solutions used. In the heap leaching

Table 2 - Possible thermodynamic reactions of the ore components with hydrogen peroxide

№	Reaction	ΔG , kJ/mol			
		298 K	323 K	353 K	373 K
1	$2\text{NaCN} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{O}_2(\text{g}) = 2\text{NaOH} + 2\text{CO}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g})$	-1261,41	-1260,52	-1259,34	-1258,54
2	$2\text{NaCN} + \text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{NaOH} + 2\text{C} + \text{N}_2(\text{g})$	-472,67	-471,65	-470,31	-469,39
3	$\text{FeS}_2 + 2.5\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}_2 = \text{FeO} + 2\text{H}_2\text{SO}_4$	-1195,93	-1184,04	-1170,04	-1160,86
4	$\text{FeS}_2 + 7.5\text{H}_2\text{O}_2 = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$	-1866,88	-1856,34	-1844,47	-1836,96
5	$\text{FeS}_2 + 7\text{H}_2\text{O}_2 = \text{FeO} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$	-1711,89	-1703,79	-1694,92	-1689,44
6	$2\text{FeAsS} + 9\text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{FeO} + \text{As}_2\text{O}_3 + 9\text{H}_2\text{O} + 2\text{SO}_2(\text{g})$	-2386,97	-2383,55	-2380,89	-2378,89
7	$2\text{FeAsS} + 10\text{H}_2\text{O}_2 = \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{As}_2\text{O}_3 + 10\text{H}_2\text{O} + 2\text{SO}_2(\text{g})$	-2733,24	-2727,32	-2722,22	-2717,85
8	$\text{FeAsS} + 2.5\text{H}_2\text{O}_2 + 1.5\text{O}_2(\text{g}) = \text{FeO} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_3\text{AsO}_3$	-1135,35	-1126,16	-1116,88	-1107,51
9	$2\text{FeAsS} + 5\text{H}_2\text{O}_2 + 3.5\text{O}_2(\text{g}) = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_3\text{AsO}_3$	-2513,77	-2492,12	-2470,29	-2448,27
10	$\text{FeAsS} + 2.5\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{O}_2(\text{g}) = \text{FeO} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_3\text{AsO}_4$	-1263,81	-1251,87	-1240,02	-1228,23
11	$2\text{FeAsS} + 5\text{H}_2\text{O}_2 + 4.5\text{O}_2(\text{g}) = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_3\text{AsO}_4$	-2770,69	-2743,55	-2716,56	-2689,7
12	$\text{FeAsS} + \text{H}_2\text{O}_2 + 3\text{O}_2(\text{g}) = \text{FeAsO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$	-1218,49	-1204,82	-1191,24	-1177,75
13	$\text{FeAsS} + \text{H}_2\text{O}_2 + 2.5\text{O}_2(\text{g}) = \text{FeAsO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2(\text{g})$	-1065,81	-1058,72	-1051,71	-1044,75
14	$\text{FeAsS} + 2.5\text{H}_2\text{O}_2 = \text{FeSO}_4 + \text{AsH}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}$	-548,23	-546,91	-545,65	-544,43
15	$\text{CuS} + 4\text{H}_2\text{O}_2 = \text{CuSO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$	-1021,20	-1015,04	-1009,20	-1003,66

of gold will lead to the destruction of sodium cyanide to form an alkali (Reaction (1) and (2), Table 2). The decrease in the concentration of cyanide, respectively, reduces the extraction of gold. Based on the technology of heap leaching of gold, in which one of the stages of the process is paused between irrigations [25]. This technological method is used in the presence of sulfide minerals in the ore, in which there is finely disseminated gold.

If hydrogen peroxide is used when irrigating a heap without supplying alkaline cyanide solutions, then the oxidizing agent will react with the sulfide part of the ore. Thermodynamic calculations show that pyrite, arsenopyrite and galena present in ores can be oxidized in the presence of hydrogen peroxide with the formation of various compounds, oxides, sulfates, etc. Oxidation and dissolution of iron and copper sulfates will lead to the opening of finely disseminated gold, which can then be extracted at supply of cyanide solution.

Laboratory tests of ore leaching

Laboratory tests on cyanide leaching were carried out in an agitator with a rotation speed of 30 rpm. The modes of leaching were as follows: ore size -12 mm, ore sample weight for each experiment 500 g, ratio Solid:Liquid =1:2, pH 10-11, concentration of sodium cyanide 0.1 %, leaching duration 24 hours. During the leaching process, the concentration of sodium cyanide and the pH of the medium were monitored, and, if necessary, reagents were added.

Based on the data of thermodynamic analysis, the ore was treated with hydrogen peroxide for 30 min before cyanide leaching. The hydrogen peroxide concentration for treatment ranges from 0.2% to 1%. After the completion of leaching, the filtered solution and the solid phase of the tailings were analyzed for gold content.

The results of gold leaching are shown in Figures 1-2.

The results show that the maximum gold recovery is 52.92% at a hydrogen peroxide concentration of 0.5%, the gold recovery without ore treatment is 52.03%. For further research on heap leaching of gold, this concentration of hydrogen peroxide (0.5%) was chosen as the optimal one.

Research on the technology of heap leaching of gold

Heap leaching of gold in columns was fulfilled in a closed cycle: leaching of gold from the ore with alkaline cyanide solutions; sorption of dissolved gold with activated carbons; return of the solution into circulation for leaching after correcting the concentration of sodium cyanide and pH.

Attributes of the unit for conducting column studies are as follows: ore size is -20 mm; diameter of columns for leaching is 100 mm; height of leaching columns is 800 mm; height of the ore layer in the column is 750 mm. The ore mass in the columns by dry weight is 9 kg. Solutions of 0.05% (0.5 g/L) sodium cyanide were used as a leaching solution; the pH value was maintained within 10.5–11.0 by adding sodium hydroxide.

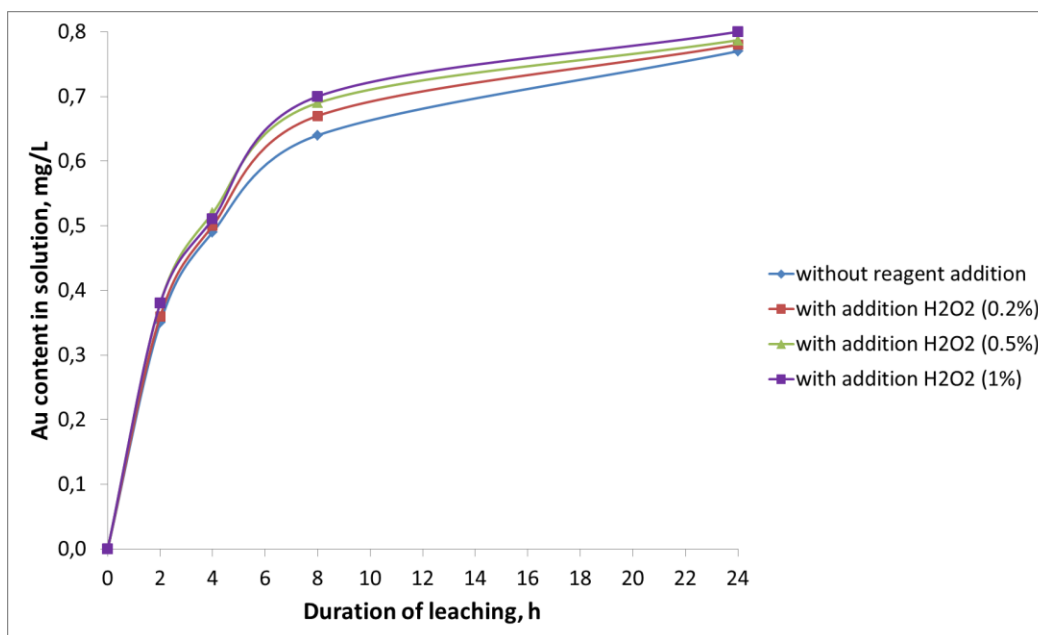


Figure 1 - Gold dissolution kinetics of crushed ore to a particle size of -12+0 mm

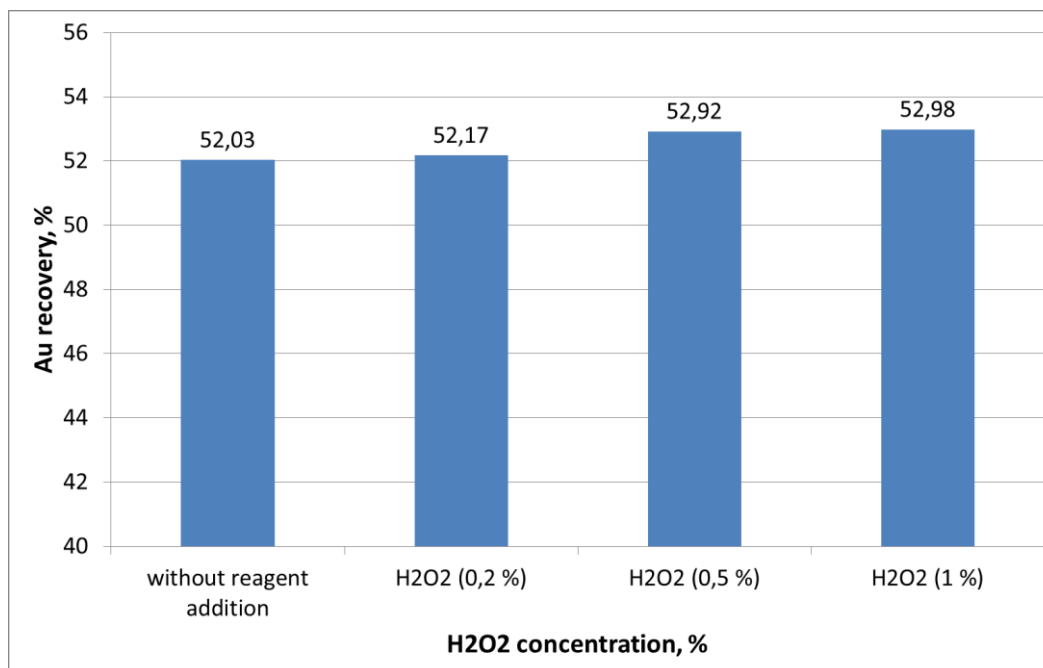


Figure 2 - Gold recovery degree of crushed ore to a particle size of -12+0 mm

For comparison purposes, two series of research were conducted on heap leaching of gold with the addition of hydrogen peroxide and without that.

The method of leaching with the addition of hydrogen peroxide was carried out as follows: The first 3 cycles of ore leaching were treated only with a solution of 0.5 % hydrogen peroxide. In subsequent leaching cycles, the addition of this reagent was stopped and the leaching was carried out with a cyanide-alkaline solution. It took 15

leaching cycles to dissolve the gold. The results of heap leaching of gold are shown in Figures 3-5.

Figures 3-4 show that pre-leaching ore treatment with hydrogen peroxide at the beginning of three leaching cycles increases the gold content in productive solutions. The degree of gold recovery with treatment with hydrogen peroxide (55.89%) is 1.2% higher than in the experiments without treatment of this reagent (54.69%).

The consumption of sodium cyanide for leaching without treatment was 0.65 kg/t.

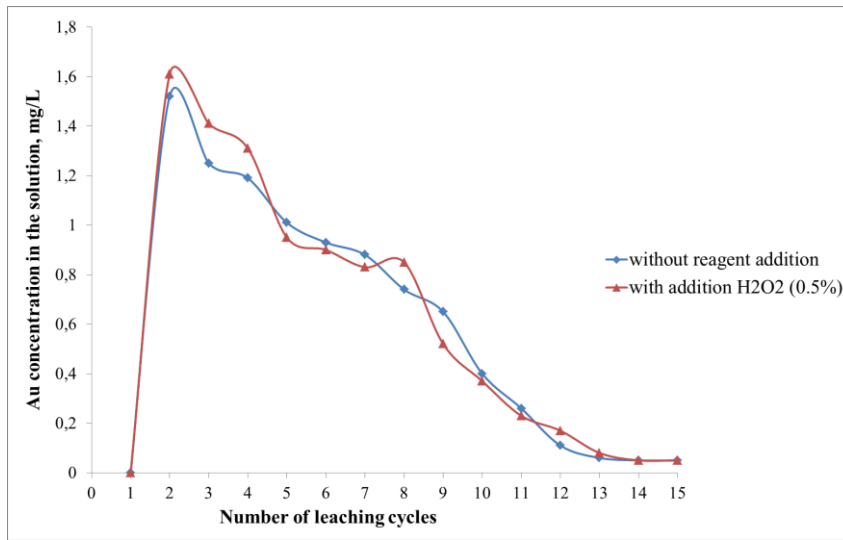


Figure 3 - A change in the content of gold in productive solutions in the leaching process

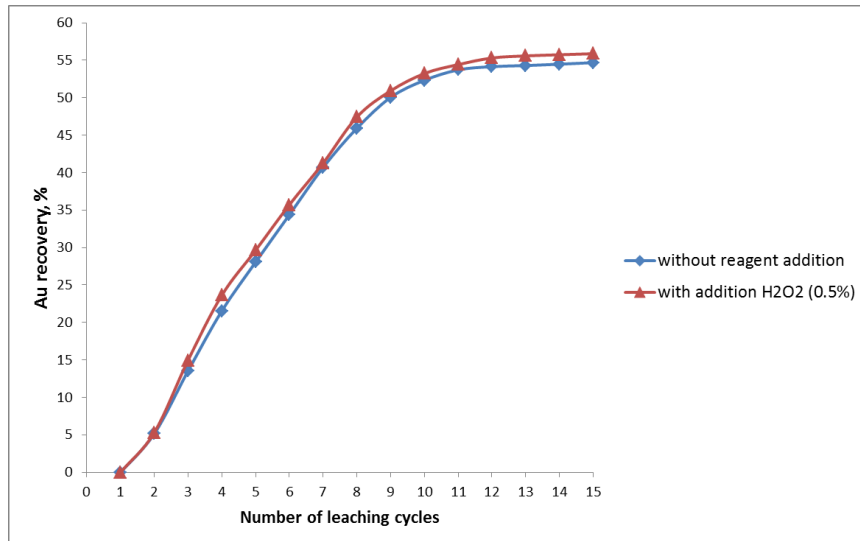


Figure 4 - Dependence of gold recovery on the duration of leaching

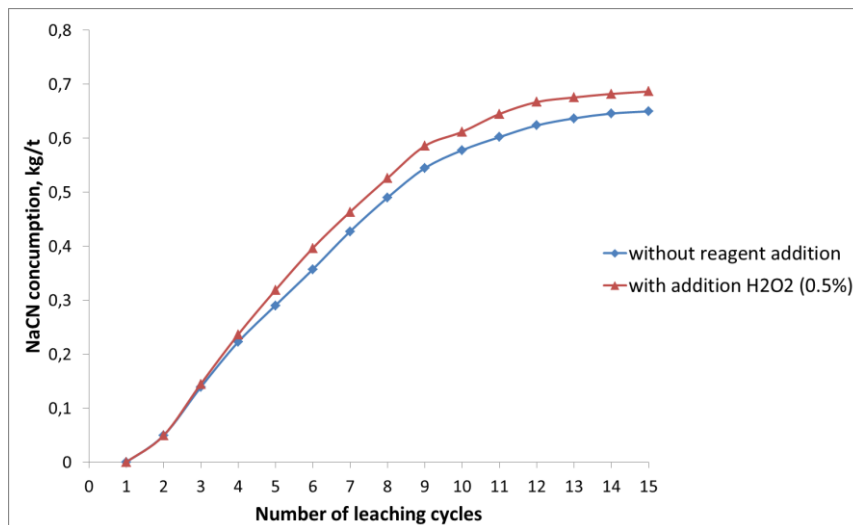


Figure 5 - Consumption of sodium cyanide in the leaching process

Treatment of ore with hydrogen peroxide increases the sodium cyanide consumption by 0.04 kg/t and is 0.69 kg/t (Figure 5).

Conclusions

The treatment of gold-bearing ore of the Sari Gunay deposit with hydrogen peroxide in heap leaching of gold increases gold recovery by 1.2% and is 55.89%, without treatment - 54.69%. This

increases the consumption of sodium cyanide by 0.04 kg / t.

In the future, studies will be carried out on the intensification of gold-bearing ores using alternative oxidizers and experiments for gold-bearing ores of Kazakhstan.

Conflicts of interest. On behalf of all authors, the corresponding author states that there is no conflict of interest.

Cite this article as: Yessengarayev Ye.K., Surimbayev B.N., Baimbetov B.S., Mamyachenkov S.V., Kanaly T.S. Ore treatment hydrogen peroxide during heap leaching of gold. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*. 2021. №1(316), pp. 5-14.
<https://doi.org/10.31643/2021/6445.01>

Алтынды үйінді шаймалау кезінде кенді сутегінің асқын тотығымен өңдеу

^{1,2*} Есенғараев Е.Қ., ^{2,3} Сүрімбаев Б.Н., ¹ Баимбетов Б.С., ⁴ Мамяченков С.В., ⁵ Қаналы Т.С.

¹Satbayev University, Алматы, Қазақстан

²«ҚР МШКҚӨ ҰО» РМК «Қазмеханообр» мемлекеттік өнеркәсіптік экология ғылыми-өндірістік бірлестігі» филиалы, Алматы, Қазақстан

³Эл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

⁴Ресейдің бірінші Президенті Б.Н. Ельцин атындағы Орал федералды университеті, Екатеринбург, Ресей

⁵Қазақстан Республикасының минералды шикізатты кешенді қайта өңдеудің ұлттық орталығы, Алматы қ., Қазақстан

* Corresponding author email: y.yessengarayev@stud.satbayev.university, esengaraev_erlan@mail.ru

ТҮЙІНДЕМЕ

Өткен ғасырда көптеген проблемалар алтынды шаймалаудың жылдамдығының төмен болуымен байланысты болды, ал кейіннен алтынды ерітінділеуді қарқындалу әдістері жасалды. Осы әдістердің ішінде алтынды шаймалауды тездету үшін сутегі асқын тотығын қолданатын әдіс бар. Шаймалау процесін қарқындалу мақсатында, сутегінің асқын тотығын қолдана отырып, кеннен алтынды цианидтік шаймалау арқылы алу көрсеткіштері зерттелді. Бұл жұмыста Сары-Гунай (Иран) кенорынның алтынқұрамды кендерін сынама-гравиметриялық, химиялық, минералогиялық талдауларының нәтижелері ұсынылған. Сульфидтегі күкірттің мөлшері бойынша кен аз сульфидті санатқа, ал күкірттің тотығу дәрежесі бойынша (50,70%) – тотыққан кендер санатына жатады. Кен компоненттерінің сутегі асқын тотығымен мүмкін болатын реакцияларына термодинамикалық талдау жүргізілді. Алтынды цианидтік шаймалау арқылы алу бойынша жүргізілген зертханалық зерттеулер көрсеткендей, сутегі асқын тотығының концентрациясы 0,5% болған кезде алтынның ең жоғары бөлінуі 52,92%-ды құрайды, реагентті қолданбаған кезде алтынның бөлінуі 52,03% болады. Сутегі асқын тотығымен (H₂O₂–0,5%) өңдеген және өңдемеген кездегі зертханалық және бағаналық сынақ көрсеткіштеріне салыстыру жүргізілді. Алтынды үйінді шаймалау кезінде кенді сутегі асқын тотығымен өңдесе алтынның алынуы 1,2%-ға артады, яғни 55,89%-ды құрайды, ал өңдемеген жағдайда 54,69%-ды құрайды. Бұл кезде натрий цианидінің шығыны 0,04 кг/т-ға артады.

Түйін сөздер: алтынды үйінді шаймалау, үйінді шаймалау процесін қарқындалу, алтынды шаймалау, сутегінің асқын тотығы, тотықтырғыш, алтын.

Авторлар туралы ақпарат:

- Докторант, Сәтбаев атындағы университет, Алматы, Қазақстан; - Асыл металдар зертханасының ғылыми қызметкері, «ҚР МШКҚӨ ҰО» РМК «Қазмеханообр» мемлекеттік өнеркәсіптік экология ғылыми-өндірістік бірлестігі» филиалы, Алматы, Қазақстан. <https://orcid.org/0000-0001-8487-7464>,
Email: y.yessengarayev@stud.satbayev.university, esengaraev_erlan@mail.ru.

- PhD докторы, Асыл металдар зертханасының аға ғылыми қызметкері, «ҚР МШКҚӨ ҰО» РМК «Қазмеханообр» мемлекеттік өнеркәсіптік экология ғылыми-өндірістік бірлестігі» филиалы, Алматы, Қазақстан; - Аға оқытушы, Аналитикалық, коллоидтық химия және

Мақала келді: 30 желтоқсан 2020
Рецензенттен өтті: 25 қаңтар 2021
Қабылданды: 09 ақпан 2021

Есенғараев Ерлан Қайратұлы

Сүрімбаев Бауыржан Нұржанұлы

	<i>сирек элементтер технологиясы кафедрасы, Химия және химиялық технология факультеті, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан. https://orcid.org/0000-0002-3988-8444, Email: surimbaev@gmail.com, bauyrzhan.surimbaev@kaznu.kz</i>
Баимбетов Болотпай Сағынулы	<i>Т.ғ.к., Металлургия және пайдалы қазбаларды қайта өңдеу кафедрасының доценті, Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан. https://orcid.org/0000-0003-4442-5038, Email: b.baimbetov@satbayev.university.</i>
Мамяченков Сергей Владимирович	<i>Т.ғ.д, профессор, Ресей Тұңғыш Президенті Б. Н. Ельцин атындағы Орал федералдық университетінің түсті металлургия кафедрасының меңгерушісі, Екатеринбург, Ресей. https://orcid.org/0000-0003-4442-5038, Email: b.baimbetov@satbayev.university.</i>
Қаналы Темірбек Серіқұлы	<i>Кіші ғылыми қызметкер, физикалық-аналитикалық әдістер зертханасы. Қазақстан Республикасының Ұлттық минералды шикізатты кешенді өңдеу орталығы, Алматы, Қазақстан. https://orcid.org/0000-0002-6465-9010, Email: mr_temirbek_ks@mail.ru.</i>

Обработка руды пероксидом водорода при кучном выщелачивании золота

^{1,2*} Есенгараев Е.К., ^{2,3} Суримбаев Б.Н., ¹ Баимбетов Б.С., ⁴ Мамяченков С.В., ⁵ Каналы Т.С.

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан

²Филиал РГП «НЦ КПМС РК» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханобр», Алматы, Казахстан

³Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан

⁴Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

⁵Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья РК, Алматы, Казахстан

* Электронная почта автора: y.yessengarayev@stud.satbayev.university, esengaraev_erlan@mail.ru

АННОТАЦИЯ

На протяжении последнего столетия многие проблемы были направлены на решение задачи низкой скорости выщелачивания золота и, в дальнейшем были разработаны методы интенсификации выщелачивания золота. Среди этих методов, известно использование пероксида водорода для ускорения выщелачивания золота. С целью интенсификации процесса выщелачивания были изучены показатели цианидного выщелачивания золота из руды с использованием пероксида водорода. В данной работе представлены результаты пробирно-гравиметрического, химического, минералогического анализов золотосодержащей руды месторождения Сари-Гунай (Иран). По содержанию сульфидной серы руда относится к категории малосульфидной, по степени окисления серы (50,70%) – к категории окисленных руд. Проведен термодинамический анализ возможных реакции компонентов руды с пероксидом водорода. Лабораторные исследования по цианидному выщелачиванию золота показали, что максимальное извлечение золота составляет 52,92% при концентрации пероксида водорода 0,5%, извлечение золота без обработки руды составляет 52,03%. Проведено сравнение показателей лабораторного и колонного испытания с обработкой и без обработки пероксидом водорода (H₂O₂-0.5%). Обработка золотосодержащей руды пероксидом водорода при кучном выщелачивании золота увеличивает извлечение золота на 1,2% и составляет 55,89%, без обработки – 54,69%. При этом увеличивается расход цианида натрия на 0,04 кг/т.

Ключевые слова: Кучное выщелачивание золота, интенсификация кучного выщелачивания, выщелачивание золота, пероксид водорода, окислитель, золото.

Статья поступила: 30 декабря 2020
Рецензирование: 25 января 2021
Принята в печать: 9 февраля 2021

Информация об авторах:

Есенгараев Ерлан Кайратович

- Докторант, Satbayev University, Алматы, Казахстан; - Научный сотрудник лаборатории благородных металлов. Филиал РГП «НЦ КПМС РК» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханобр», Алматы, Казахстан. <https://orcid.org/0000-0001-8487-7464>, Email: y.yessengarayev@stud.satbayev.university, esengaraev_erlan@mail.ru.

Суримбаев Бауыржан Нуржанович

- Доктор PhD, Старший научный сотрудник лаборатории благородных металлов, - Филиал РГП «НЦ КПМС РК» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханобр», Алматы, Казахстан; Старший преподаватель кафедры аналитической, коллоидной химии и технологии редких элементов, Факультет химии и химической технологии, Казахский Национальный Университет имени Аль-Фараби, Алматы, Казахстан. <https://orcid.org/0000-0002-3988-8444>, Email: surimbaev@gmail.com, bauyrzhan.surimbaev@kaznu.kz

Баимбетов Болотпай Сагинович

К.т.н., ассоциированный профессор кафедры металлургии и обогащение полезных ископаемых, Satbayev University, Алматы, Казахстан. <https://orcid.org/0000-0003-4442-5038>, Email: b.baimbetov@satbayev.university.

Мамяченков Сергей Владимирович	<i>Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой металлургии цветных металлов, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия. https://orcid.org/0000-0001-6070-8746, Email: s.v.mamiachenkov@urfu.ru.</i>
Каналы Темирбек Сериккулы	<i>Младший научный сотрудник лаборатории физико-аналитических методов, Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья РК, Алматы, Казахстан; https://orcid.org/0000-0002-6465-9010, Email: mr_temirbek_ks@mail.ru.</i>

Литература

- [1] Van Zyl, D. J., Hutchison, I. P., & Kiel, J. E. (1988). Introduction to evaluation, design, and operation of precious metal heap leaching projects. *Society of Mining Engineers*, Littleton, Colorado. VII. 372.
- [2] Surimbayev B.N., Baikunurova A.O., Bolotova L.S. (2017) Prospects for the development of the process of intensive cyanidation of gold-containing products in the Republic of Kazakhstan. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences*. Almaty, Kazakhstan, 4(424): 133–141. ISSN 2224-5278.
- [3] Abubakriev, A. T., Koizhanova, A. K., Magomedov, D. R., Erdenova, M. B., Abdylidaev, N. N. (2019). Leaching of gold-containing ores with application of oxidation activators. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo syr'â/Complex Use of Mineral Resources/Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*, 3(310), 10–15. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.23>
- [4] Kenzhaliyev B.K., Koizhanova A.K., Magomedov D.R., Kamalov E.M., Erdenova M.B., Abdylidaev N.N. (2020). A study of the biohydrometallurgical method for extracting gold from flotation tailings. *Metallurgiya*. 59, 4, 477 - 480.
- [5] Сорокин И.П. (1958). Изучение условий растворения золота и серебра в цианистых растворах при низких температурах /Труды ВНИИ-1. Магадан. № 33, 13-69.
- [6] Есенгараев Е.К. Баимбетов Б.С. Болотова Л.С. Каналы Е.С. Акжаркенов М.Д. (2018). Влияние перекиси водорода на выщелачивание золота. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Innovatsii v kompleksnoy pererabotke mineral'nogo syr'ya»/International scientific-practical conference «Innovations in the complex processing of mineral raw materials»/Halyqaralyq ғылыми-praktikalıq konferentsiya «Mineraldy shikizatty keshendi óńdeýdegi innovatsıalar»*. Алматы, 90-91. ISBN 978-601-06-5370-2
- [7] Huang Kong-xuan. (1996). New advantages on gold extraction in foreign countries. *Hydrometallurgy*, 9-18 (in Chinese.)
- [8] Guzman L, Sgarra M, Chimenos J M, Fernandez M A, Espiell F. (1999). Gold cyanidation using hydrogen peroxide. *Hydrometallurgy*. 52, 21-35. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(99\)00006-7](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(99)00006-7)
- [9] Турысбекова Г.С., Меретуков М.А., Бектай Е.К. (2015). *Золото: инновации в химии и металлургии*. Алматы, 117. ISBN: 978-601-228-838-4, 117-223-228.
- [10] Botz, M.M., Mudder, T.I., & Akcil, A.U. (2016). Cyanide treatment: physical, chemical, and biological processes. In *Gold ore processing*, Elsevier. 619-645. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63658-4.00035-9>
- [11] Breuer, P., Sutcliffe, C., Meakin, R. (2010). Comparison of industrial cyanide destruction processes. *25th International Mineral Processing Congress - IMPC2010*, 7, 1483–1493. <http://hdl.handle.net/102.100.100/109330?index=1>
- [12] Kitis, M., Akcil, A., Karakaya, E., Yigit, N.O. (2005). Destruction of cyanide by hydrogen peroxide in tailings slurries from low bearing sulphidic gold ores. *Miner. Eng.* 18, 353–362. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2004.06.003>
- [13] Longley, R.J., McCallum, A., Katsikaros, N. (2003). Intensive cyanidation: onsite application of the InLine Leach Reactor to gravity gold concentrates. *Miner. Eng.* 16, 411–419. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(03\)00054-2](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(03)00054-2)
- [14] Surimbayev B., Bolotova L., Mishra B., Baikunurova A. (2018). Intensive cyanidation of gold from gravity concentrates in a drum-type apparatus, *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*. 5, 431, 32–37. <https://doi.org/10.32014/2018.2518-170X.7>
- [15] Surimbayev B., Bolotova L., Baikunurova A., Shalgymbayev S. (2019). Acetic acid application as an activating reagent in the intensive cyanidation of gravity concentrates. *Kompleks. ispol'zovanie Miner. syr'â/Complex Use Miner. Resour. shikisattardy Keshendi Paid.* 1, 308, 83–88. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.10>
- [16] Lawes, B.C., Mathre, O.B. (1971). Process for detoxifying cyanide waste waters. *U.S. Patent No. 3,617,582*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, application 15.05.1969, publication 02.11.1971.
- [17] Лобанов В.Г., Тимофеев Е.И., Набиуллин Ф.М., Начаров В.Б., Третьяков А.В., Филонов Н. А., Миков С. В., Горбун В.Н., Маковская О.Ю., Старков А.М. (2017). Способ цианистого выщелачивания золота и серебра. *Патент RU № 2624751С1*, заяв. 11.04.2016, опубл. 06.07.2017, бюл. № 19.
- [18] Есенгараев Е. К., Баимбетов Б. С., Мамяченков С. В., Суримбаев Б. Н., Прозор Н.Г. (2020). Изучение процесса цианидного выщелачивания золота с применением ацетата натрия при различной крупности руды. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo syr'â/Complex Use of Mineral Resources/Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*. №1 (312), 59-68. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.08>
- [19] Есенгараев Е. К., Баимбетов Б. С., Мамяченков С. В., Суримбаев Б. Н. (2020). Изучение вещественного состава золотосодержащей руды месторождения Сари-Гунай. *Gornyy zhurnal Kazakhstana / Mining Journal of Kazakhstan/Qazaqstannıy tay-ken jyrnaly*. №2. 6-11.

- [20] Yessengarayev Ye. K., Baimbetov B. S., Surimbayev B. N. (2020). Studies on heap leaching of gold with the addition of sodium acetate as an intensifying reagent. *Non-ferrous Metals*. 2, 25–30. <https://doi.org/10.17580/nfm.2020.02.04>
- [21] Шумилова Л.В., Резник Ю.Н., Зыков Н.В., Добромыслов Ю.П., Конарева Т.Г. (2009). Способ кучного выщелачивания золота из окисленных и смешанных руд. (2009). Патент RU № 2361076С1, заяв. 06.12.2007, опубл. 10.07.2009, бюл. № 19.
- [22] Karimi, P., Abdollahi, H., Amini, A., Noaparast, M., Shafaei, S.Z., Habashi, F. (2010). Cyanidation of gold ores containing copper, silver, lead, arsenic and antimony. *Int. J. Miner. Process.* 95 (1–4), 68–77 <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2010.03.002>, ISSN 0301-7516.
- [23] Thiago Oliveira Nunan, Isabella Lima Viana, Guilherme C. Peixoto, Herbert Ernesto, Daniel Martin Verster, Jose Henrique Pereira, Jose M. Bonfatti, Luiz Alberto Cesar Teixeira. (2017). Improvements in gold ore cyanidation by pre-oxidation with hydrogen peroxide. *Minerals Engineering*. Vol. 108. 67-70. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.01.006>.
- [24] Marsden J., House I. (2006). The Chemistry of Gold Extraction. *Society for Mining, Metallurgy and Exploration. 2nd edition. West Sussex, England: Ellis Horwood*. ISBN 10: 0873352408 / ISBN 13: 9780873352406.
- [25] Бейсембаев Б.Б., Кенжалиев Б.К., Абсалямов Х.К., Говядовская О.Ю., Копенов М.К., Турсунбаева А.К. (2000). Способ кучного выщелачивания золотосодержащих руд. Патент KZ № 9446, заяв. 17.08.1999, опубл. 15.09.2000, бюл. № 9.

Reference

- [1] Van Zyl, D. J., Hutchison, I. P., & Kiel, J. E. (1988). Introduction to evaluation, design, and operation of precious metal heap leaching projects. Society of Mining Engineers, Littleton. Colorado. VII. 372. (in Eng.)
- [2] Surimbayev B.N., Baikunurova A.O., Bolotova L.S. (2017). Prospects for the development of the process of intensive cyanidation of gold-containing products in the Republic of Kazakhstan. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences*. Almaty, Kazakhstan, 4(424): 133–141. (in Eng.)
- [3] Abubakriev, A. T., Koizhanova, A. K., Magomedov, D. R., Erdenova, M. B., Abdylbaev, N. N. (2019). Leaching of gold-containing ores with application of oxidation activators. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo syr'â/Complex Use of Mineral Resources/Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*, 3(310), 10–15. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.23> (in Eng.)
- [4] Kenzhaliyev B.K., Koizhanova A.K., Magomedov D.R., Kamalov E.M., Erdenova M.B., Abdylbaev N.N. (2020). A study of the biohydrometallurgical method for extracting gold from flotation tailings. *Metallurgija*. 59, 4, 477 - 480. (in Eng.)
- [5] Sorokin I.P. (1958). *Izucheniye usloviy rastvoreniya zolota i serebra v tsiyanistykh rastvorakh pri nizkikh temperaturakh* (Studying the conditions for the dissolution of gold and silver in cyanide solutions at low temperatures). *Trudy VNII-1*. (Transactions of VNII-1.) Magadan Russia. № 33, 13-69 (in Russ.)
- [6] Yessengarayev Ye.K., Baimbetov B.S., Bolotova L.S., Kanaly Ye.S., Akjerkenov M.D. (2018). *Vliyaniye perekisi vodoroda na vyshchelachivaniye zolota* (Effect of hydrogen peroxide on gold leaching). *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Innovatsii v kompleksnoy pererabotke mineral'nogo syr'ya»(International scientific-practical conference «Innovations in the complex processing of mineral raw materials)*. Almaty, 90-91. ISBN 978-601-06-5370-2 (in Russ.)
- [7] Huang Kong-xuan. (1996). New advantages on gold extraction in foreign countries. *Hydrometallurgy*, 9-18 (in Chinese.)
- [8] Guzman L, Sgarra M, Chimenos J M, Fernandez M A, Espiell F. (1999). Gold cyanidation using hydrogen peroxide. *Hydrometallurgy*. 52, 21-35. [https://doi.org/10.1016/S0304-386X\(99\)00006-7](https://doi.org/10.1016/S0304-386X(99)00006-7) (in Eng.)
- [9] Turysbekova G.S., Meretukov M.A., Bektaj E.K. (2015). *Zoloto: innovatsii v himii i metallurgii* (Gold: Innovations in Chemistry and Metallurgy). Almaty, 117. ISBN: 978-601-228-838-4, 117-223-228 (in Russ.)
- [10] Botz, M.M., Mudder, T.I., Akcil, A.U. (2016). Cyanide treatment: physical, chemical, and biological processes. In *Gold ore processing*, Elsevier. 619-645. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63658-4.00035-9> (in Eng.)
- [11] Breuer, P., Sutcliffe, C., Meakin, R. (2010). Comparison of industrial cyanide destruction processes. *25th International Mineral Processing Congress - IMPC2010*, 7, 1483–1493. <http://hdl.handle.net/102.100.100/109330?index=1> (in Eng.)
- [12] Kitis, M., Akcil, A., Karakaya, E., Yigit, N.O. (2005). Destruction of cyanide by hydrogen peroxide in tailings slurries from low bearing sulphidic gold ores. *Miner. Eng.* 18, 353–362. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2004.06.003> (in Eng.)
- [13] Longley, R.J., McCallum, A., Katsikaros, N. (2003). Intensive cyanidation: onsite application of the InLine Leach Reactor to gravity gold concentrates. *Miner. Eng.* 16, 411–419. [https://doi.org/10.1016/S0892-6875\(03\)00054-2](https://doi.org/10.1016/S0892-6875(03)00054-2) (in Eng.)
- [14] Surimbayev B., Bolotova L., Mishra B., Baikunurova A. (2018). Intensive cyanidation of gold from gravity concentrates in a drum-type apparatus. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*. 5, 431, 32–37. <https://doi.org/10.32014/2018.2518-170X.7> (in Eng.)
- [15] Surimbayev B., Bolotova L., Baikunurova A., Shalgymbayev S. (2019). Acetic acid application as an activating reagent in the intensive cyanidation of gravity concentrates. *Kompleks. ispol'zovanie Miner. syr'â/Complex Use Miner. Resour. shikisattardy Keshendi Paid*. 1, 308, 83–88. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.10> (in Eng.)
- [16] Lawes, B.C., Mathre, O.B. (1971). Process for detoxifying cyanide waste waters. *U.S. Patent No. 3,617,582*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, application 15.05.1969, publication 02.11.1971. (in Eng.)
- [17] Lobanov V.G., Timofeev E.I., Nabiullin F.M., Nacharov V.B., Tretyakov A.V., Filonov N.A., Mikov S.V., Gorbut V.N.,

- Makovskaya O.Yu., Starkov A.M. (2017). *Sposob tsianistogo vyshchelachivaniya zolota i serebra* (Method of cyanic leaching of gold and silver). Pat. RU No. 2624751C1, application 11.04.2016, publication 06.07.2017, Bull. № 19 (in Russ.)
- [18] Yessengarayev Ye.K., Baimbetov B.S., Mamyachenkov S.V., Surimbayev B.N., Prozor N.G. (2020). *Izucheniye protsessy tsianidnogo vyshchelachivaniya zolota s primeneniym atsetata natriya pri razlichnoy krupnosti rudy*. [Study of the process of cyanide leaching of gold using sodium acetate at different ore sizes]. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo syr'â/Complex Use of Mineral Resources/Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*, №1 (312), 59-68. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.08> (in Russ.)
- [19] Yessengarayev Ye.K., Baimbetov B.S., Mamyachenkov S.V., Surimbayev B.N. (2020). *Izucheniye veshchestvennogo sostava zolotosoderzhashchey rudy mestorozhdeniya Sari-Gunay*. [Study of the material composition of gold-containing ore from the Sari-Gunai deposit]. *Gornyy zhurnal Kazakhstana/Mining Journal of Kazakhstan / Qazaqstannyń taý-ken jýrnaly*, №2. 6-11 (in Russ.)
- [20] Yessengarayev Ye. K., Baimbetov B. S., Surimbayev B. N. (2020). Studies on heap leaching of gold with the addition of sodium acetate as an intensifying reagent. *Non-ferrous Metals*. 2, 25–30. <https://doi.org/10.17580/nfm.2020.02.04> (in Eng.)
- [21] Shumilova L.V., Reznik J.N., Zykov N.V., Dobromyslov J.P., Konareva T.G. (2009). *Sposob kuchnogo vyshchelachivaniya zolota iz okislennykh i smeshannykh rud* (Method of heap leaching of gold out of oxidised and mixed ores). Pat. RU No. 2361076C1, application 06.12.2007, publication. 10.07.2009, Bull. № 19 (in Russ.)
- [22] Karimi, P., Abdollahi, H., Amini, A., Noaparast, M., Shafaei, S.Z., Habashi, F. (2010). Cyanidation of gold ores containing copper, silver, lead, arsenic and antimony. *Int. J. Miner. Process.* 95 (1–4), 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2010.03.002>, ISSN 0301-7516 (in Eng.)
- [23] Thiago Oliveira Nunan, Isabella Lima Viana, Guilherme C. Peixoto, Herbert Ernesto, Daniel Martin Verster, Jose Henrique Pereira, Jose M. Bonfatti, Luiz Alberto Cesar Teixeira. (2017). Improvements in gold ore cyanidation by pre-oxidation with hydrogen peroxide. *Minerals Engineering*. Vol. 108. 67-70. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2017.01.006> (in Eng.)
- [24] Marsden J., House I. (2006). The Chemistry of Gold Extraction. *Society for Mining, Metallurgy and Exploration. 2nd edition. West Sussex, England: Ellis Horwood*. ISBN 10: 0873352408 / ISBN 13: 9780873352406 (in Eng.)
- [25] Beisembaev B.B., Kenzhaliev B.K., Absalyamov H.K., Govyadovskaya O.Yu., Kopenov M.K., Tursynbayeva A.K. (2000). *Sposob kuchnogo vyshchelachivaniya zolotosoderzhashchikh rud* (Method for heap leaching of gold-bearing ores.). Pat. KZ № 9446, application 17.08.1999, publication 15.09.2000, Bull. № 9 (in Russ.).



UDC 532.546

DOI: 10.31643/2021/6445.02



IRSTI 73.39.81

Simulation of oil pipeline shutdown and restart modes

¹Bekibayev T.T., ¹Zhapbasbayev U.K., ^{1*}Ramazanova G.I., ²Minghat A. D., ¹Bosinov D.Zh.

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²Razak Faculty of Technology and Informatics, Universiti Teknologi, Malaysia

* Corresponding author email: gaukhar.ri@gmail.com, g.ramazanova@satbayev.university

ABSTRACT

The paper is devoted to the simulating of non-stationary processes of shutdown and restart on the example of a section of the Zhetybai-Uzen "hot" oil pipeline. A mathematical model of thermal-hydraulic calculation is given taking into account the rheological properties of the pumping oil. The special module of the SmartTran software developed by the work's authors carried out the calculations. In the calculations, the decrease in time of oil temperature in the pipeline during cooling and the increase in oil pressure, temperature, velocity after the restart are determined. In addition, the calculations determine the power of pumping units, heating furnaces and the power consumption, which are necessary for restart of the pipeline after the shutdown. Simulation the processes of the pipeline cooling and restart after a shutdown makes it possible choosing the optimum parameters of pumping units at pumping stations and the time of safe shutdown of the oil pipeline.

Keywords: simulation, oil pipeline, transportation, shutdown, restart, software module.

Received: 13 January 2021
Peer-reviewed: 25 January 2021
Accepted: 09 February 2021

Information about authors:

Timur Talgatovich Bekibayev

Master of engineering and technology, head of section. Non-commercial joint-stock company "Satbayev University", Research and Production Laboratory "Energy Modeling", Almaty, the Republic of Kazakhstan. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7030-0015>. Email: timur_bekibaev@mail.ru

Uzak Kaibekovich Zhapbasbayev

Doctor of technical sciences, Professor, Academician of the Kazakhstan National Academy of Natural Sciences, head of research laboratory. Non-commercial joint-stock company "Satbayev University", Research and Production Laboratory "Energy Modeling", Almaty, the Republic of Kazakhstan <https://orcid.org/0000-0001-5973-5149>. Email: uzak.zh@mail.ru

Gaukhar Izbasarovna Ramazanova

Candidate of physical and mathematical sciences, Leading Researcher. Non-commercial joint-stock company "Satbayev University", Research and Production Laboratory "Energy Modeling", Almaty, the Republic of Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0002-8689-9293>. Email: gaukhar.ri@gmail.com

Asnul D. Minghat

PhD (Technical and Vocational Education) from the National University of Malaysia, M. Sc. (Vocational Education) from Universiti Putra Malaysia, B. Tech. Ed (Civil Eng.) from Universiti Teknologi Malaysia. Email: asnul@utm.my; ORCID ID: 0000-0002-6831-110X

Daniar Zhumadilovich Bosinov

Ph.D. student. Non-commercial joint-stock company "Satbayev University", Research and Production Laboratory "Energy Modeling", Almaty, the Republic of Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0003-3757-6460>. Email: dansho.91@mail.ru

Introduction

Simulation of the shutdown, cooling and restart of the pipeline is very important for constructing a process flow diagram of the pipeline operation acceptable modes. The start of the non-isothermal oil pipeline section after the shutdown is one of the most complex technological process governing the entire pipeline operation. Short-term shutdown of the main pipeline section and its restart requires extreme care due to emergency risk. This is because the oil cools down and the oil viscosity increases

sharply due to the temperature decrease during the short-term shutdown of the section. Pressure losses in the pipeline increase significantly and for the restart of section greater pressures of pumping units are required, which, in turn, create the emergency risk.

Simulation of the pipeline cooling and restart after a shutdown makes it possible to analyze various cases to determine the safe mode of the pipeline launching. Calculations of the shutdown and restart of the pipeline allow choosing the

optimum parameters of pumping units and the safe shutdown time.

Mathematical setting of the problem

The oil pipeline shutdown and restart process is a non-stationary pumping mode, because of the oil pressure, temperature and flow rate are varying with time. The calculation of the non-stationary process requires consideration of the differential equations of motion and energy.

In view of the fact that the length L of the oil pipeline section is much greater than its internal diameter D_1 ($L \gg D_1$), the problem is considered in a one-dimensional settlement.

The energy equation determines the temperature along the pipeline, depending on the velocity, in view of the prevailing effect of convection heat transfer compared to conduction for oil pumping. Therefore, the conduction heat transfer can be neglected in the energy equation.

In that case, the energy equation for the main oil pipeline section, taking into account the heat of friction and oil heating at the stations, is written as [1, 2, 3]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -u(T) \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{4k}{\rho D_1 c_p} (T - T_w(x, t)) + \frac{\zeta u^3}{2c_p D_1} + \frac{\sum_{i=1}^n R_i(x) \Delta T_i^{pd}}{\Delta t} \quad (1)$$

where T, T_w are the temperatures of oil and ground, respectively; ρ, c_p, u are the density, the heat capacity, and the velocity of oil, respectively; k is the heat transfer coefficient, ζ is the hydraulic resistance coefficient, n is the number of midpoint oil heating stations, $R_i(x)$ is the existence function of the heating station, equal to 1, if the station is at a point x , and 0 otherwise, ΔT_i^{pd} is the value of oil heating at the i -th station.

The values of $(x), T_w(x), k(x), \zeta(x)$ are the functions of x , i.e. they possess different values along the pipeline. The term $\zeta u^3 / 2c_p D_1$ expresses the kinetic energy dissipation of the oil flow.

The outlet temperature of the initial station is set as the boundary condition for the equation (1). The temperature at the inlet of end station can be uniquely calculated by solving the equation (1).

The heat transfer coefficient k through the wall of pipeline is determined by the formula [4, 5]:

$$\frac{1}{kD_1} = \frac{1}{D_1 \alpha_1} + \frac{1}{D_{out} \alpha_2} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda_i} \ln \left(\frac{D_{i+1}}{D_i} \right) \quad (2)$$

where α_1 is the internal heat transfer coefficient, α_2 is the external heat transfer coefficient, λ_i is the thermal conductivity coefficient, D_i, D_{i+1} are the inner and outer diameters of the i -th layer (pipe wall, insulation), respectively, D_1, D_{out} are the inner and outer diameters of the pipeline, respectively.

The Forchheimer formula [4] is used to calculate the external heat transfer coefficient α_2 :

$$\alpha_2 = \frac{2\lambda_{gr}}{D_{out} \ln \left[\frac{2H}{D_{out}} + \sqrt{\left(\frac{2H}{D_{out}} \right)^2 - 1} \right]}$$

where λ_{gr} is the thermal conductivity coefficient of the ground, H is the pipeline depth to its axis.

The internal heat transfer from oil to the wall of pipeline α_1 is defined as [6]:

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_{oil}}{D_1} \cdot Nu$$

where λ_{oil} is the oil thermal conductivity coefficient, Nu is the Nusselt's number of oil-to-pipe wall heat transfer during forced convection in an enclosed volume.

In case the pipeline is stopped, so $u=0$, then the thermal energy equation (1) takes the simpler form:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{4k_1}{\rho c_p D_1} (T - T_w) = 0 \quad (3)$$

The equation (3) is used to calculate the oil cooling temperature in a stopped pipeline; the heat transfer coefficient k_1 can be easily obtained by the formula (2).

The energy equation (1) is solved simultaneously with the motion equation, which determines the correlation between oil pressure and flow rate [4]:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} = -\zeta(Re, \varepsilon) \frac{\rho u |\vec{u}|}{2D_1} - \rho g \sin \beta(x) \quad (4)$$

where p is the oil pressure in the pipe, Re is the Reynolds number, ε is the pipe relative roughness, $\zeta(Re, \varepsilon) \frac{\rho u |\vec{u}|}{2D_1}$ determines the pressure drop,

$\rho g \frac{dz}{dx} \sin\beta(x)$ is the static pressure change due to the profile of pipeline.

The temperature-viscosity and temperature-heat capacity relationships are determined by the standard formulas [2] - [4]:

$$\begin{aligned} \rho(T) &= \rho_{20}[1 + \xi(20 - T)], \\ \mu(T) &= a \cdot e^{-bT}, \\ c_p(T) &= \frac{1}{\sqrt{\rho_{20}}}(53357 + 107.2 \cdot T) \end{aligned} \tag{5}$$

where ρ_{20} is the oil density at 20°C; ξ is the volumetric expansion coefficient of the oil mixture ($\xi = 0.000738 \text{ 1/}^\circ\text{C}$); a, b are empirical constants.

The oil inlet pressure at the end station is set as the boundary condition of the equation (4). The outlet pressure at the initial station is created by the operation of pumping units for transportation of the required oil volume along the length of the pipeline.

The hydraulic resistance coefficient is calculated depending on the oil flowing regime in the pipe [7]-[9] (Table 1).

The Reynolds number Re includes the oil viscosity coefficient $\mu(T)$, which can be found from the equation (1) if we know the oil temperature.

The system of equations (1)-(5) is solved together for each time step by the numerical method [10]-[13]. The computational domain of the equations coincides with the pipeline length, and is divided into the computational nodes with 1 m distance.

An explicit scheme is used for discretization of the equations (1), (3). The time step for stability of the explicit difference scheme for (1), (3) is chosen from the Courant condition [10], [11]. The difference scheme of the equation (4) was obtained by an implicit scheme, which, as it is known, is stable [9], [10].

The difference equations are reduced to a system of linear algebraic equations, and are solved by the iterative methods [10]-[14].

The special library was developed to speed up the calculation. The calculations of oil pressure and temperature were carried out by the software developed in C#. The interface window of the software is presented in Fig. 1.

Table 1 – Determination of the hydraulic resistance coefficient

Flow regime	Condition	Determination of ζ
Laminar flow regime	$Re \leq 2040$	$64/Re$
Transition regime	$2040 < Re \leq 2800$	$1.176 \cdot 10^{-5} \cdot Re^{1.035}$
Turbulent flow regime (skin friction zone)	$2800 < Re \leq 17.5/\varepsilon$	$0.3164/Re^{0.25}$
Turbulent flow regime (mixed friction zone)	$17.5/\varepsilon < Re \leq 531/\varepsilon$	$\frac{0.206\varepsilon^{0.15}}{Re^{0.1}}$
Turbulent flow regime (quadratic friction zone)	$531/\varepsilon < Re$	$0.11\varepsilon^{0.25}$

Discussion of the calculated data of shutdown and restart of the pipeline

To simulate the shutdown and restart process of a given section of the main oil pipeline, it is necessary to select the calculation type “shutdown and restart mode” on the tool bar of the main window (see Fig. 1) and then indicate the stop time in hours.

Next the following calculation parameters are entered:

- the type of pumped oil;
- the list of operating pumps before shutdown and after restart;

- the list of operating preheaters before shutdown and after restart;
- the oil preheat temperature at the initial station.

Note that it doesn't take to set the pipeline section's flow rate, because the oil flow rate before the shutdown and after the restart will be calculated by the software module according to the parameters of the operating pumps and preheaters.

Fig. 1 shows the main window domains for entering the initial parameters and running the calculation: the domain №1 for selection and starting the mode, the domain №2 for entering the operational parameters for each pipeline station.

After entering all parameters, the calculation mode of the shutdown and restart of the pipeline is started.

The simulation results of the shutdown and restart of pipeline are presented in Fig. 2-6. Fig. 2 shows the calculated data of the hydraulic slope (top plot), the pressure (middle plot), oil and ground temperatures (bottom plot) before the shutdown of the “Zhetybai – Uzen” pipeline section. The calculation results are presented in the forms of plot and table in a separate window: oil flow rate, distributions of oil temperature, pressure in the

pipe, hydraulic slope along the pipeline, as well as a list of operating pumps and preheaters at the stations, the amount of consumed electricity and fuel (Fig. 2).

Fig. 3 presents the calculation results of the oil cooling process within 6 hours of shutdown and at the time of restart of the “Zhetybai – Uzen” pipeline. The oil temperature decreased as a result of cooling during the shutdown (see Fig. 3) compared with the oil temperature distribution before the shutdown of pipeline (see Fig. 2).

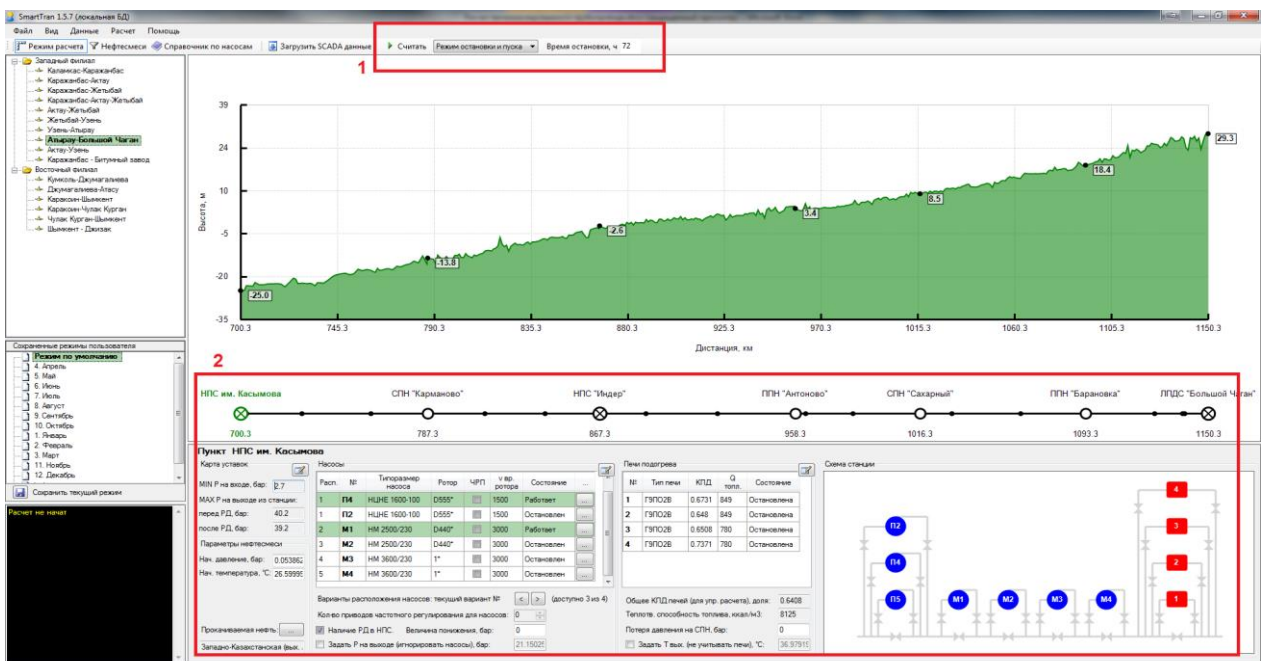


Figure 1 – The window for entering the initial parameters, and the calculation of the pipeline shutdown and restart

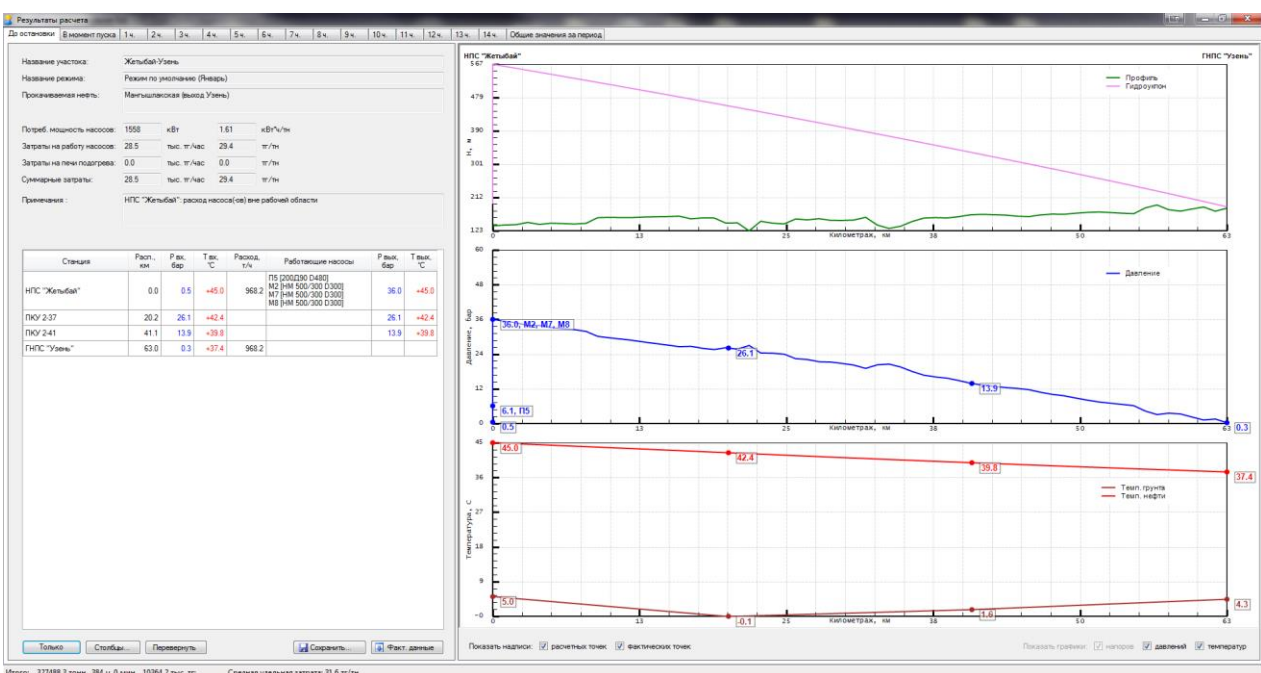


Figure 2 – Computed data before shutdown of the “Zhetybai-Uzen” pipeline

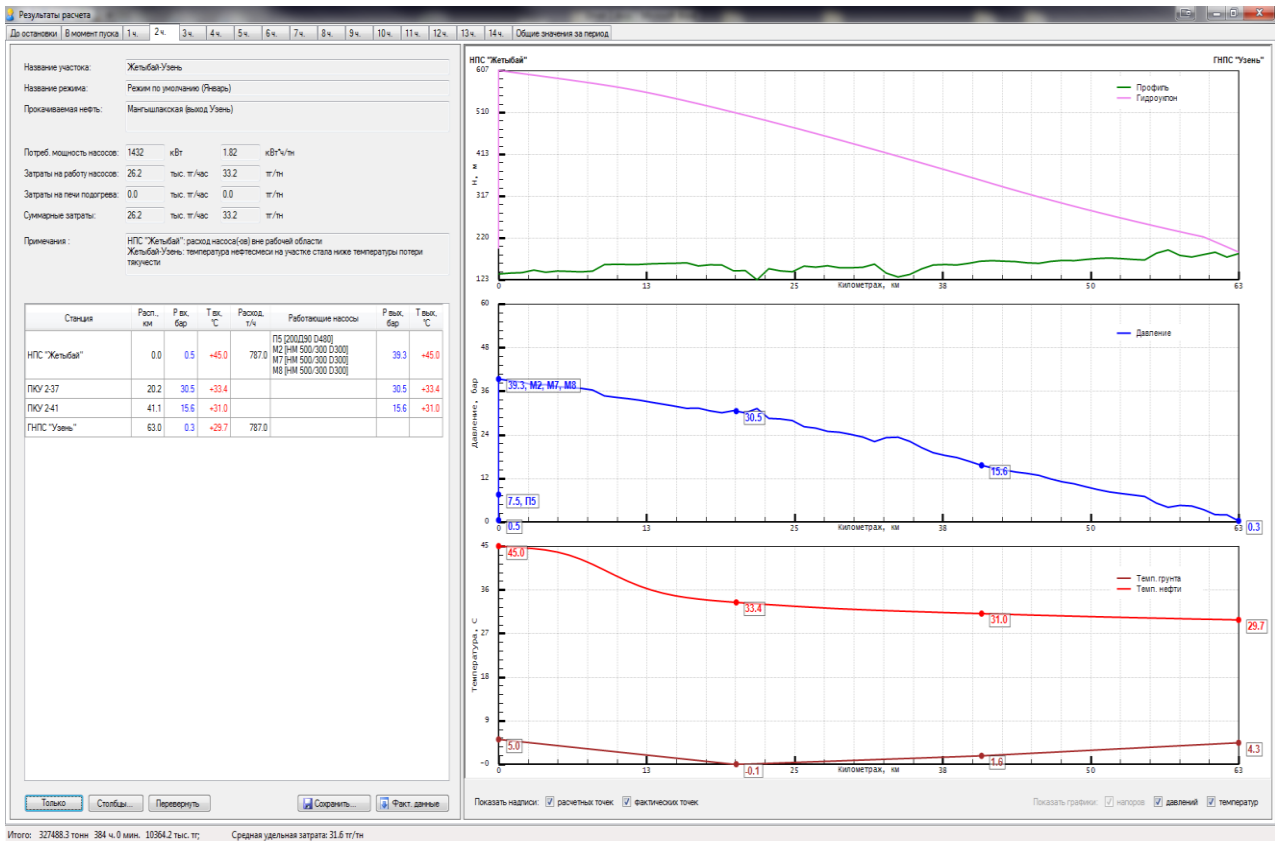


Figure 4 - Computed data 2 hours after the restart of the “Zhetybai – Uzen” pipeline

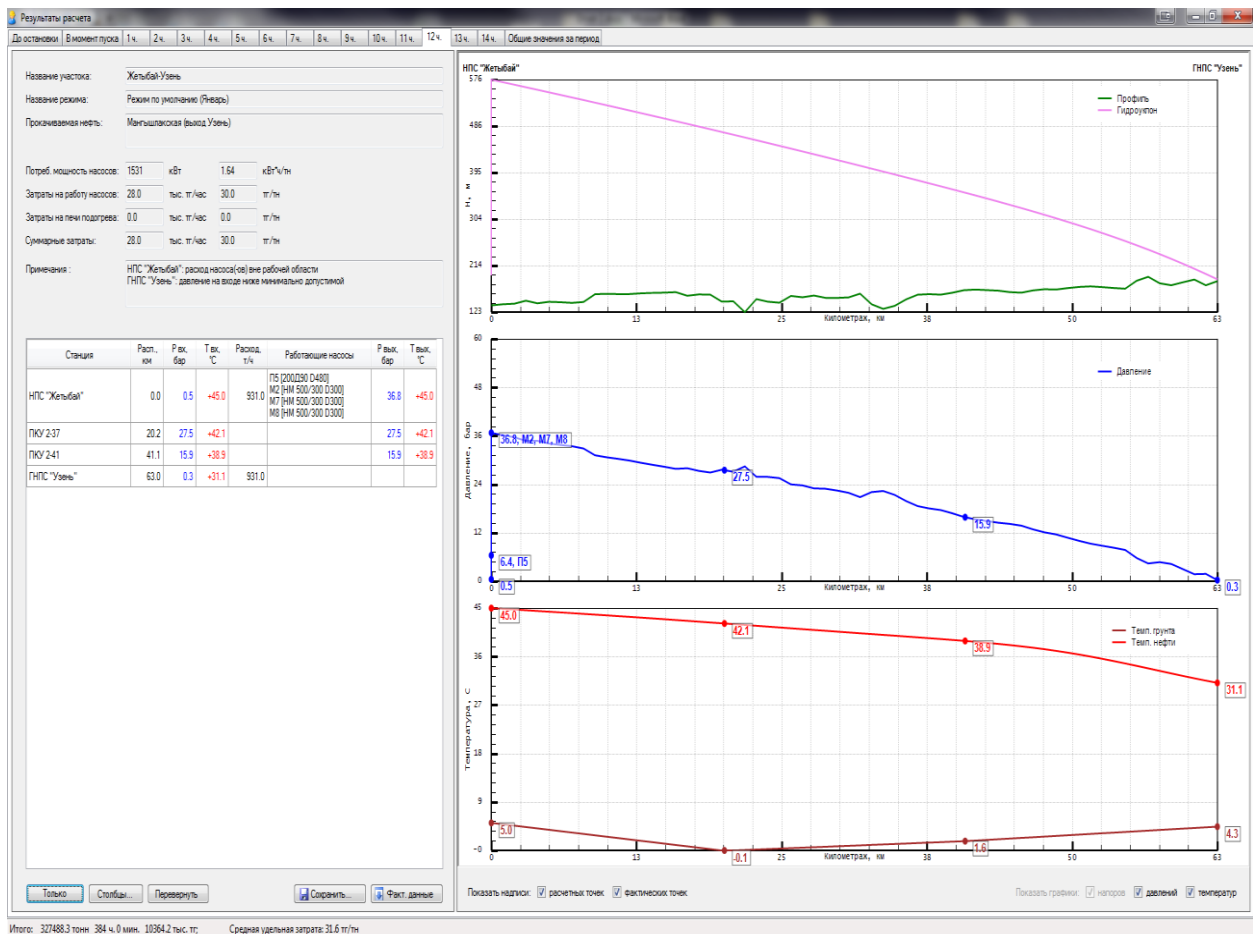


Figure 5 - Computed data 12 hours after the restart of the “Zhetybai – Uzen” pipeline

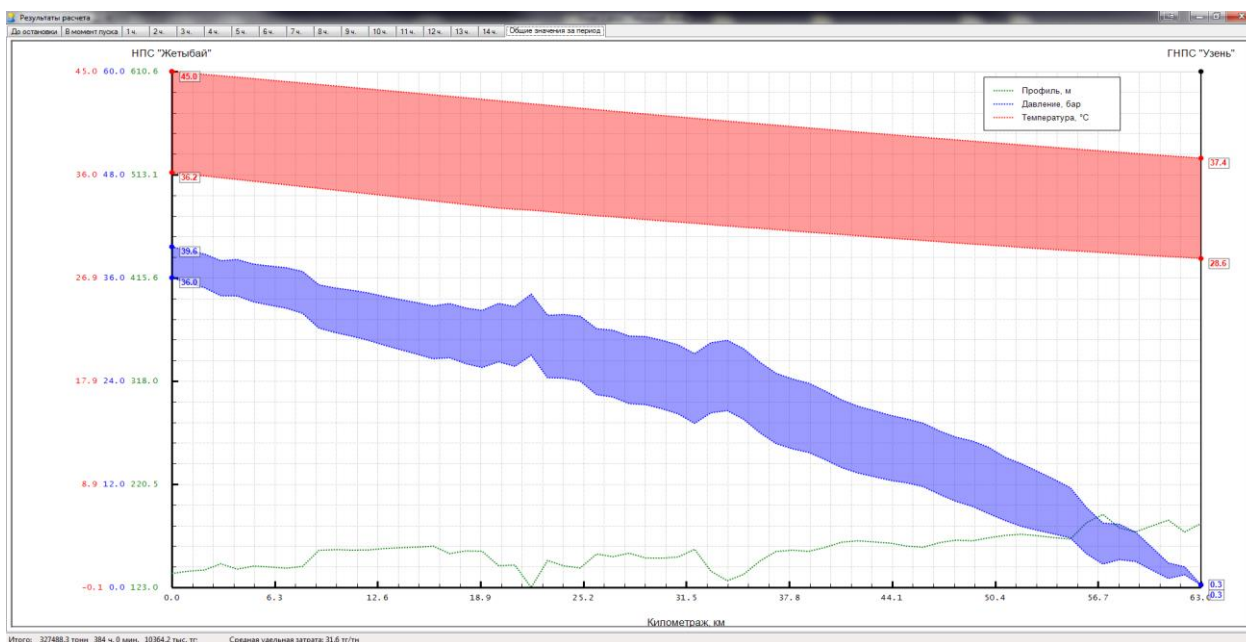


Figure 6 - Total change in the oil pressure and temperature over the entire period after the restart of the Zhetybai-Uzen pipeline

Fig. 4, 5 show the dynamics of the oil parameters in time after the restart of pipeline: hydro-slope, pressure, temperature, and flow rate.

The state of oil flow 2 hours after restarting (see Fig. 4) is characterized by the values of the oil flow rate, pressure and temperature; those make 737 t/h, 39.3 bar and 45°C, respectively. These data indicate that the oil temperature rises to 45 °C in the heating furnaces. However, according to the calculation data, the flow rate value is less than before the shutdown, and the pressure value, on the contrary, is greater. This is explained by the fact that an increase in oil viscosity in the pipeline due to a decrease in temperature during the shutdown leads to an increase in the hydraulic friction resistance forces and the pressure drop for pumping with a lower flow rate than before the shutdown. The oil temperature after 38 km from the beginning of the pipeline has a lower value than at the time of restart, so in the end of the pipe, the oil heating rate is less than its cooling rate (see Fig. 4).

The state of oil flow 12 hours after the restart of pipeline (see fig. 5) shows an increase in oil flow rate up to 931 t/h and oil temperature along the full length of pipeline due to the oil heating. The pressure drop on oil pumping is reduced due to the decrease in oil viscosity and hydraulic friction resistivity. The Fig. 6 shows the general change in the

oil flow parameters after restart and transition to a steady-state mode.

The non-stationary process of the restart of pipeline after a short-term shutdown shows the change dynamics in the oil pressure and temperature during the transition of the flow parameters to the steady mode (see Fig. 6).

Conclusions

The calculation results show that the system of equations (1) - (5) of the mathematical model describes non-stationary processes of pipeline cooling and restarting after shutdown.

The calculated data allows determining the whole process of oil cooling for a given shutdown time for a given stop time, as well as pipeline starting by pumping units and preheaters with changing of state of oil flow parameters (velocity, pressure, temperature and viscosity)..

Conflicts of interest. On behalf of all authors, the corresponding author states that there is no conflict of interest.

Acknowledgements. This work has been financially supported by the project #AP0885521, funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

Мұнай құбырының тоқтауы мен қайта қосылуын модельдеу

¹Бекибаев Т.Т., ¹Жапбасбаев Ұ.Қ., ^{1*}Рамазанова Г.И., ²Мингхат А. Д., ¹Босинов Д.Ж.

¹ Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан

² Разак технология және информатика факультеті, Технология Университеті, Малайзия

* Корреспондент автордың электрондық почтасы: gaukhar.ri@gmail.com, g.ramazanova@satbayev.university

	ТҮЙІНДЕМЕ
<p>Мақала келді: 13 қаңтар 2021 Рецензенттен өтті: 25 қаңтар 2021 Қабылданды: 09 ақпан 2021</p>	<p>Бұл мақала «Жетібай-Өзен» ыстық мұнай құбыры учаскесінің мысалында құбыр жұмысын тоқтату және қайта іске қосудың стационарлық емес процестерін модельдеуге арналған. Жылу-гидравликалық есептеудің математикалық моделі тасымалданатын мұнайдың реологиялық қасиеттерін ескере отырып берілген. Бұл есептеулер жұмыстың авторлары әзірлеген SmartTran бағдарламалық жасақтаманың арнайы модулімен орындалды. Есептеу нәтижелері құбырдың салқындауы кезінде мұнай температурасының уақыт бойынша төмендеуі және қайта іске қосылғаннан кейінгі құбырдағы мұнайдың қысымы, температурасы және жылдамдығы анықталды. Сондай-ақ, құбыр бөлігін қысқа аялдамадан соң қайта іске қосуға қажет сорғы қондырғыларының, қыздыру пештерінің пайдаланатын энергия қуаты бойынша нәтижелер алынды. Мұнай құбырының жұмысы тоқтағаннан кейін оның салқындауы және қайта іске қосу процестерін модельдеу мұнай айдау бекеттеріндегі сорғы қондырғыларының оңтайлы жұмыс режимдерін және құбырдың қауіпсіз тоқтау уақытын анықтауға мүмкіндік береді.</p> <p>Түйін сөздер: мұнай құбыры, тасымалдау, тоқтату, қайта іске қосу, модельдеу, бағдарламалық жасақтама модулі.</p>
<p>Тимур Талғатұлы Бекибаев</p>	<p>Авторлар туралы ақпарат: Техника и технология магистрі, бөлім бастығы, Сәтбаев университеті, «Энергетикадағы модельдеу» ғылыми-өндірістік зертханасы, Алматы қ., Қазақстан Республикасы. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7030-0015. Электрондық пошта: timur_bekibaev@mail.ru</p>
<p>Ұзақ Қайырбекұлы Жапбасбаев</p>	<p>Техника ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан Ұлттық жаратылыстану ғылымдары академиясының академигі, зертхана меңгерушісі. Сәтбаев университеті, «Энергетикадағы модельдеу» ғылыми-өндірістік зертханасы, Алматы қ., Қазақстан Республикасы. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5973-5149, Электрондық пошта: uzak.zh@mail.ru</p>
<p>Гаухар Ізбасарқызы Рамазанова</p>	<p>Физика-математика ғылымдарының кандидаты, жетекші ғылыми қызметкер, Сәтбаев университеті, «Энергетикадағы модельдеу» ғылыми-өндірістік зертханасы, Алматы қ., Қазақстан Республикасы. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-8689-9293, Электрондық пошта: gaukhar.ri@gmail.com</p>
<p>Аснұл Д. Мингхат</p>	<p>Малайзия ұлттық университетінің PhD (техникалық және кәсіптік білім), M. Sc. (Кәсіптік білім) Universiti Putra Malaysia, B. Tech. Малайзиядағы Universiti Teknologi-ден Ed (Civil Eng.). Электрондық пошта: asnul@utm.my; ORCID идентификаторы: 0000-0002-6831-110X</p>
<p>Данияр Жұмаділұлы Босинов</p>	<p>PhD студент, Сәтбаев университеті, «Энергетикадағы модельдеу» ғылыми-өндірістік зертханасы, Алматы қ., Қазақстан Республикасы. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3757-6460. Электрондық пошта: dansho.91@mail.ru</p>

Моделирование режимов остановки и пуска нефтепровода

¹Бекибаев Т.Т., ¹Жапбасбаев У.К., ^{1*}Рамазанова Г.И., ²Мингхат А. Д., ¹Босинов Д.Ж.

¹ Satbayev University, Алматы, Казахстан

²Разак факультет технологии и информатики, Университет Технологий, Малайзия

* Электронная почта корреспондента автора: gaukhar.ri@gmail.com, g.ramazanova@satbayev.university

	АННОТАЦИЯ
<p>Статья поступила: 13 января 2021 Рецензирование: 25 января 2021 Принята в печать: 09 февраля 2021</p>	<p>Статья посвящена моделированию нестационарных процессов остановки и перезапуска на примере «горячего» участка нефтепровода «Жетыбай-Узень». Приведена математическая модель тепло-гидравлического расчета с учетом реологических свойств транспортируемой нефти. Расчеты проведены специальным модулем программы SmartTran, разработанным авторами работы. В расчетах определены снижение по времени температуры нефти в трубопроводе при остывании и повышение давления, температуры, скорости нефти после перезапуска. Также получены данные по мощности насосных агрегатов, печей подогрева и потребляемой ими энергии, необходимой для перепуска участка трубопровода после краткосрочной остановки. Моделирование процессов остывания и перезапуска нефтепровода</p>

после остановки дает возможность подобрать оптимальные режимы работы насосных агрегатов на перекачивающих станциях и найти время безопасной остановки нефтепровода.

Ключевые слова: моделирование, нефтепровод, транспортировка, остановка, перезапуск, программный продукт.

Тимур Талгатович Бекибаев	Информация об авторах: Магистр техники и технологии, руководитель отдела, Некоммерческое акционерное общество «Satbayev University», научно-производственная лаборатория «Моделирование в энергетике», г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7030-0015 . Email: timur_bekibaev@mail.ru
Узак Кайрбекович Жапбасбаев	Доктор техн. наук, профессор, академик Национальной академии естественных наук, заведующий лабораторией. Некоммерческое акционерное общество «Satbayev University», научно-производственная лаборатория «Моделирование в энергетике», г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5973-5149 . Email: uzak.zh@mail.ru
Рамазанова Гаухар Избасаровна	Кандидат физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник, Некоммерческое акционерное общество «Satbayev University», научно-производственная лаборатория «Моделирование в энергетике», г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-8689-9293 . Email: gaukhar.ri@gmail.com
Аснул Д. Мингхат	Доктор философии (техническое и профессиональное образование) Национального университета Малайзии, магистр наук. (Профессиональное образование) от Universiti Putra Malaysia, В. Tech. Эд (гражд. инж..) из Universiti Teknologi Malaysia. Эл. Почта: asnul@utm.my ; ID ORCID: 0000-0002-6831-110X
Данияр Жумадилович Босинов	PhD студент, Некоммерческое акционерное общество «Satbayev University», научно-производственная лаборатория «Моделирование в энергетике», г. Алматы, Республика Казахстан. ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3757-6460 . Email: dansho.91@mail.ru

Литература

- [1] Beysembetov I.K., Bekibayev T.T., Zhabbasbayev U.K., Ramazanova G.I., Panfilov M. SmartTran software for transportation of oil JSC KazTransOil // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences.* – 2020. – Vol. 440, N 2. – P. 6 – 13.
- [2] Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации газонефтепроводов / П. И. Тугунов [и др.]. – Уфа: Дизайн-Полиграфсервис, 2002. – 658 с.
- [3] Коршак А.А., Нечваль А.М. Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов. – М: Недра, 2008. – 488 с.
- [4] Кривошеин Б.Л., Агапкин В.М., Юфин В.А. Тепловой и гидравлический расчеты трубопроводов для нефти и нефтепродуктов. – М.: Недра, 1981. – 256 с.
- [5] Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – М.: Атомиздат, 1979. – 415 с.
- [6] Себеси Т., Брэдшоу П. Конвективный теплообмен. Физические основы и вычислительные методы/пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 592 с.
- [7] Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
- [8] Морозова Н.В., Коршак А.А. О границах зон трения при гидравлическом расчете нефте- и нефтепродуктопроводов// *Нефтегазовое дело.* – 2007. – Т.5. №1.
- [9] Бейсембетов И.К., Бекибаев Т.Т., Жапбасбаев У.К., Махмотов Е.С., Кенжалиев Б.К. Управление энергосберегающими режимами транспортировки нефтесмесей. – Алматы: КБТУ, 2016. – 210 с.
- [10] Роуч П. Вычислительная гидродинамика/пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 618 с.
- [11] Самарский А.А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1977. – 656 с.
- [12] Годунов С.К., Рябенский В.С. Разностные схемы. Введение в теорию. – М.: Наука, 1977. – 440 с.
- [13] Chung, T.J. *Computational Fluid Dynamics.* – Cambridge: Cambridge University Press, 2002. – 520 p.
- [14] Бейсембетов И.К., Бекибаев Т.Т., Жапбасбаев У.К., Махмотов Е.С., Кенжалиев Б.К. (2016). Управление энергосберегающими режимами транспортировки нефтесмесей. <https://doi.org/10.31643/2016-2019.001>

Reference

- [1] Beysembetov I.K., Bekibayev T.T., Zhabbasbayev U.K., Ramazanova G.I., Panfilov M. SmartTran software for transportation of oil JSC KazTransOil // *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences.* – 2020. – Vol. 440, N 2. – P. 6–13. (In English).
- [2] Tugunov P.I., Novoselov V.F., Korshak A.A., Shammazov A.M. Tipovyye raschety pri proyektirovanii i ekspluatatsii gazonefteprovodov [Typical calculations for the design and operation of gas and oil pipelines]. Ufa: Design-Polygraphservice, 2002. – 658 p. (In Russian).

- [3] Korshak A.A., Nechval A.M. *Proyektirovaniye i ekspluatatsiya gazonefteprovodov* [Design and operation of gas and oil pipelines]. Moscow: Nedra, 2008. (In Russian).
- [4] Agapkin V.M., Krivoshein B.L., Yufin V.A. *Teplovoy i gidravlicheskiy raschety truboprovodov dlya nefti i nefteproduktov* [Thermal and hydraulic calculations of pipelines for oil and oil products]. Moscow: Nedra, 1981. (In Russian).
- [5] Kutateladze S.S. *Osnovy teorii teploobmena* [Fundamentals of the heat transfer theory]. Moscow: Atomizdat, 1979. (In Russian).
- [6] Cebeci T., Bradshaw P. *Physical and Computational Aspects of Convective Heat Transfer*. – Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo: Springer-Verlag, 1984. (In English).
- [7] Idelchik I.E. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam* [Handbook of hydraulic resistance]. Moscow: Mashinostroenie, 1992. – 672 p. (In Russian).
- [8] Morozova N.V., Korshak A.A. *O granitsakh zon treniya pri gidravlicheskom raschete nefte- i nefteproduktoprovodov* [About the boundaries of friction zones in the hydraulic calculation of oil and oil-products pipelines] // *Neftegazovoe delo = Oil and Gas Business*. – 2007. – Vol. 5. – P. 120-125. http://ngdelo.ru/files/old_ngdelo/2007/1/120-125.pdf (In Russian).
- [9] Beisembetov I.K., Bekibaev T.T., Zhabasbaev U.K., Makhmotov E.S., Kenzhaliyev B.K. *Upravleniye energosberegayushchimi rezhimami transportirovki neftesmesey* [Management of energy-saving modes of oil mixtures transportation by the main oil pipelines]. Almaty: KBTU, 2016. (In Russian).
- [10] Roache P.J. *Computational fluid dynamics*. – Albuquerque: Hermosa Publs, 1976. (In English).
- [11] Samarskii A.A. *Teoriya raznostnykh skhem* [Theory of difference schemes]. Moscow: Nauka, 1977. – 656 p. (In Russian).
- [12] Godunov S.K., Ryabenky V.S. *Raznostnyye skhemy. Vvedeniye v teoriyu* [Difference schemes. Introduction to the theory]. Moscow: Nauka, 1973. – 400 p. (In Russian).
- [13] Chung T.J. *Computational Fluid Dynamics*. – Cambridge: Cambridge University Press, 2002. (In English).
- [14] Beysembetov I.K., Bekibayev T.T., Zhabasbayev U.K., Makhmotov Ye.S., Kenzhaliyev B.K. (2016). *Upravleniye energosberegayushchimi rezhimami transportirovki neftesmesey* [Management of energy-saving modes of transportation of oil mixtures]. <https://doi.org/10.31643/2016-2019.001> (In Russian).



ӨОЖ 669.213.6

DOI: 10.31643/2021/6445.03



FTAMP 53.37.33

Study of biohydrometallurgical technology used to recover gold from ore at a gold-recovery plant

^{1*}Koizhanova A.K., ²Sedelnikova G.V., ¹Erdenova M.B., ¹Berkinbaeva A.N., ¹Kamalov E.M.

¹Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Almaty, Kazakhstan

²Separate subdivision "Geotechnological Center", JSC "Rosgeologia", Moscow, Russia

*Corresponding author email: aigul_koizhan@mail.ru, a.koizhanova@satbayev.university

ABSTRACT

The article contains the results of the studies performed for the biochemical extraction modes for mineral raw materials using thionic bacteria *Acidithiobacillusferrooxidans* of a certain strain capable to oxidize sulfide minerals. A representative sample of mineral raw materials was taken, and its physical and chemical studies were performed. The optimal conditions to leach mineral raw materials with biochemical solvents based on various factors (temperature, S:W) were established. Modern physical and chemical methods of analysis were used during the study: X-ray fluorescence, X-ray phase, mineralogical, electron probe, chemical analyzes, IR methods to study the phase composition of ores and changes in the structure of minerals. The chemical composition of the ore sample quartered and crushed up to a size of -0.074 mm is as follows, wt. %: SiO₂ - 60.11; Al₂O₃ 6.2; Zn 0.016; Cu 0.10; Fe - 2.5; S 0.50; Au - 3.67 g/t and Ag - 3.2 g/t. This paper discusses various options for agitational leaching with acid pre-wash, bacterial dissection and oxidative decomposition of minerals using sodium hypochlorite. The results obtained showed that the most effective method to increase the gold recovery is to perform bacterial oxidation of ore using acidophilic bacteria *At. Ferrooxidans* preliminarily adapted to the material composition of the test sample, followed by treatment with sodium hypochlorite solution and cyanidation. Biohydrometallurgical ore processing provides high gold recovery (78.1%).

Keywords: ore, gold, biochemical leaching, *At. ferrooxidans*, sodium hypochlorite, cyanidation.

Information about authors:

Candidate of Technical Sciences, head of the laboratory of special methods of hydrometallurgy. Satbayev University, Institute of Metallurgy and Beneficiation, 050010, st. Shevchenko, 29/133, Almaty, Kazakhstan. ORCID ID: 0000-0001-9358-3193. Email: aigul_koizhan@mail.ru, a.koizhanova@satbayev.university

Koizhanova Aigul Kairgeldyevna

Sedelnikova Galina Vasilievna

Doctor of Technical Sciences, Director of the Geotechnological Center Separate Subdivision, JSC Rosgeologia, Moscow, Russia, Kherson street, 43, building 3. email: gvsedelnikova@rusgeology.ru

Erdenova Maria Beisenbekovna

Master's degree, Junior Researcher, Laboratory of Special Methods of Hydrometallurgy, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Beneficiation, 050010, st. Shevchenko, 29/133, Almaty, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0002-7496-5097>, email: erdenova_mariya@mail.ru.

Berkinbaeva A. Ainur Nurkalievna

Candidate of Technical Sciences, Head of the Chemical Analytical Laboratory, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Beneficiation, 050010, st. Shevchenko, 29/133, Almaty, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0002-2569-9087>, email: ainur_kbk@mail.ru

Kamalov Emil Maksutovich

Senior Researcher, Laboratory of Special Methods of Hydrometallurgy, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Beneficiation, 050010, st. Shevchenko, 29/133, Almaty, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0002-6073-348X>, email: email-kamalov@mail.ru

Алтын шығаратын фабриканың кендерінен алтын алудың биогидрометаллургиялық технологиясы

^{1*}Қойжанова А.Қ., ²Седельникова Г.В., ¹Ерденова М.Б., ¹Беркінбаева А.Н., ¹Камалов Э.М.

¹Сатбаев Университеті, Металлургия және кен байыту институты, Алматы, Қазақстан

²«Геотехнологиялық орталық» жеке бөлімшесі, «Росгеология» АҚ, Мәскеу, Ресей

*Автордың электронды поштасы: aigul_koizhan@mail.ru, a.koizhanova@satbayev.university

ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада сульфидті минералдарды тотықтыруға қабілетті, белгілі бір штаммы бар (*Acidithiobacillus ferrooxidans*) тионды бактерияларын пайдалана отырып, минералды шикізатты биохимиялық ашу режимдерін зерттеу нәтижелері берілген. Минералды шикізаттың шағын сынама алынды және оған физикалық-химиялық зерттеулер жүргізілді. Минералды шикізатты әртүрлі факторларға (температура, К:С) негізделген биохимиялық еріткіштермен шаймалаудың оңтайлы шарттары анықталды. Зерттеу барысында талдаудың заманауи физикалық және химиялық әдістері: рентгенфлуоресценттік, рентгенфазалық, минералогиялық, электронды-зондтық, химиялық талдаулар, кендердің фазалық құрамын және минералдардың құрылымында болып жатқан өзгерістерді зерттеудің ИҚС әдістері қолданылды. Ірілігі -0,074 мм-ге дейін ұсақталған кен сынамаcының химиялық құрамы мынадай, мас. %: SiO₂ - 60,11; Al₂O₃ - 6,2; Zn - 0,016; Cu 0,10; Fe - 2,5; S - 0,50; Au - 3,67 г/т және Ag - 3,2 г/т. Бұл жұмыста алдын ала қышқылмен жуу, бактериялық ашу және минералдарды натрий гипохлоритімен тотықтырып ыдырату арқылы агитациялық шаймалаудың әртүрлі нұсқалары қарастырылады. Алынған нәтижелер алтынды алу көлемін арттырудың ең тиімдісі сыналатын сынаманың заттық құрамына алдын ала бейімделген (*At. ferrooxidans*) ацидофильді бактерияларын қолданып кенді бактериялық тотықтыру екендігін көрсетті. Содан кейін барып ерітіндіні натрий гипохлориті ерітіндісімен өңдеу және циандау керек. Кенді биогидрометаллургиялық өңдеу алтынды жоғары мөлшерде бөліп алуды қамтамасыз етеді (78,1 %).

Түйін сөздер: кен, алтын, биохимиялық шаймалау, *At. ferrooxidans*, натрий гипохлориті, циандау.

Мақала келді: 13 қаңтар 2021
Рецензенттен өтті: 05 ақпан 2021
Қабылданды: 22 ақпан 2021

Қойжанова Айгүл Қайыргелдіқызы	Авторлар туралы ақпарат: Техника ғылымдарының кандидаты, гидрометаллургияның арнайы әдістері зертханасының меңгерушісі. Satbayev University, Металлургия және кен байыту институты, 050010, Шевченко көшесі, 29/133, Алматы, Қазақстан, https://orcid.org/0000-0001-9358-3193 , email: aigul_koizhan@mail.ru .
Седельникова Галина Васильевна	Техника ғылымдарының докторы, Геотехнологиялық орталықтың жеке бөлімшесі, «Росгеология» АҚ директоры, Мәскеу, Ресей, Херсон көшесі, 43, 3 үй. email: gsedelnikova@rusgeology.ru
Ерденова Мәрия Бейсенбекқызы	Магистр, гидрометаллургияның арнайы әдістері зертханасының кіші ғылыми қызметкері, Satbayev University, Металлургия және кен байыту институты, 050010, Шевченко көшесі, 29/133, Алматы, Қазақстан, https://orcid.org/0000-0002-7496-5097 , email: erdenova_mariya@mail.ru .
Беркінбаева Айнұр Нұрқалиқызы	Техника ғылымдарының кандидаты, химиялық аналитикалық зертхананың меңгерушісі, Satbayev University, Металлургия және кен байыту институты, 050010, Шевченко көшесі, 29/133, Алматы, Қазақстан, https://orcid.org/0000-0002-2569-9087 , email: ainur_kbk@mail.ru
Камалов Эмиль Максұтович	Гидрометаллургияның арнайы әдістері зертханасының аға ғылыми қызметкері, Satbayev University, Металлургия және кен байыту институты, 050010, Шевченко көшесі, 29/133, Алматы, Қазақстан, https://orcid.org/0000-0002-6073-348X , email: emil-kamalov@mail.ru .

Кіріспе

Алтын гидрометаллургиясының маңызды мәселесі – қиын алынатын кендер мен техногендік қалдықтардан алтынды алудың тиімді тәсілдерін іздеу. Қазақстан Республикасының алтын қорын ұлғайтуға мүмкіндік беретін жаңа кен орындарының ашылуына және пайдаланылуына қарай оның өзектілігі барынша артып келеді.

Алтын кені шикізатын қайта өңдеу саласындағы қазіргі жағдайды бағалау бүгінгі таңда негізгі проблемаларды тұжырымдауға мүмкіндік береді. Ең алдымен, олар өнеркәсіптік тәжірибеде жалпы қабылданған әдістермен өңдеуге келмейтін технологиялық жағынан тұрақты кендер мен концентраттардың болуымен байланысты. Екіншіден, қайта өңделетін алтын кенінің шикізат сапасының нашарлауы. Үшіншіден, соңғы жылдары

қоршаған ортаны қорғауға қойылатын талаптардың күрт өсуі, себебі қоршаған ортаға кері әсер ететін кен байыту фабрикаларының қалдық қоймаларында алтынның айтарлықтай мөлшері бар [1].

Қазіргі уақытта алтын өндіретін кәсіпорындардың көпшілігі циандауды қолданады, оны әртүрлі байыту схемаларына енгізіп отыр.

Цианидті тәсіл барлық тұрақты кендерден сеппеленген және аралас жұқа дисперсті алтынды (20-60 %) жоғары мөлшерде алуды қамтамасыз етпейді және бұл мөлшерге (80-90% және одан да көп) тұрақты алтынды тесіп, күйдіру, автоклавты тотықтыру, цементтеу және басқа да тәсілдермен ашудың алдын ала (циандауға дейін) процестерін пайдаланған жағдайда қол жеткізіледі. Циандауды қолдану қоршаған ортаға кері әсерін тигізеді. Кен шикізатын биототықтыру процестеріндегі

Acidithiobacillus ferrooxidans (At. *ferrooxidans*) бактерияларының рөлі кеңінен танымал. Қазіргі уақытта АҚШ, Мексика, Испания, Австралия, Португалия және т.б. елдерде микроағзалар алтынды және бірқатар басқа да металдарды алу үшін қолданылады [2].

Кен шикізатынан алтынды және бірге жүретін металдарды биототықтыру барынша қолайлы, шығын аз кететін және экологиялық жағынан қауіпсіз әдіс ретінде қарастырылады [3-10].

Жұмыстың мақсаты сульфидті минералдарды тотықтыруға қабілетті *At. ferrooxidans* тионды бактерияларын пайдалана отырып, алтын шығару фабрикасының кенінен алтын алудың биогидрометаллургиялық технологиясын әзірлеу және зерттеу болды.

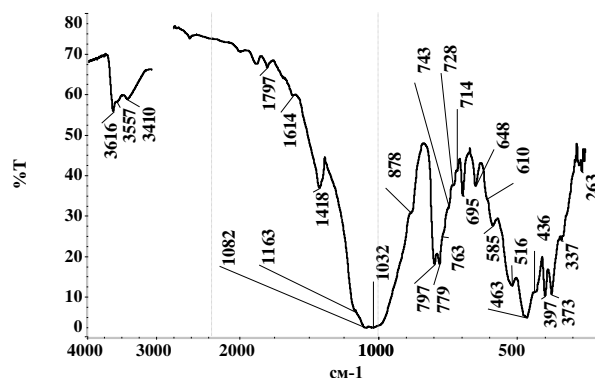
Эксперименттік бөлім

Зерттеу объектісі ретінде Ақбақай кен орнындағы құрамында алтын бар кен алынды, ол -0,074+0 мм ірілік класына дейін сатылы түрде ұсақталып, әрі қарай технологиялық зерттеулер мен заттық құрамды зерттеу үшін сынамаларды (аспаларды) іріктеудің стандартты әдістемесіне сәйкес орташаланып, бөлінді. Зерттелетін кен сынамасының химиялық құрамы мынадай негізгі компоненттерден тұрады, %: Fe – 2,5; Sжалп – 0,50; As – 19,4; Zn – 0,016; Cu – 0,10; Au – 3,67 г/т; Ag – 3,2 г/т.

Кенді циандау өнімдеріне тиісінше атомдық-адсорбциялық (ерітінді) және сынамалық (кек) талдау түрлері жасалды.

Рентгенфлуоресцентті, рентгенфаза, ИҚ спектро-фотометриялық талдау әдістерін қолдана отырып, кеннің фазалық құрамына жүргізілген зерттеу олардың α -SiO₂ (кварц) - 1163, 1086, 797, 779, 694, 515, 464, 396, 372 см⁻¹ және негізгі фаза ретінде альбит түріндегі плагиоклазадан [NaAlSi₃O₈ + CaAl₂Si₂O₈] -1163, 763п, 743п, 727п, 648, 610п, 581п, 464, 436 см⁻¹, сондай-ақ мусковиттен (KAl₂[AlSi₃O₁₀](OH)₂) - 3619, 3409, 1618, 1035, 694, 436 см⁻¹, ортоклазадан K[(Si, Al)₄O₈] - 763п, 727п, 648, 581п, 436 см⁻¹, кальцит CaCO₃ - 1795, 1421, 878п, 714 см⁻¹, халькопирит CuFeS₂, пирит FeS₂, магнетит Fe₃O₄, гематит Fe₂O₃ және темір гидроксидтерінен – 3557, 763п, 463, 436 см⁻¹ тұратынын көрсетті. Me-O, Me-S байланыстарының көрінуі байқалатын ұзын толқынды бөлікте Fe²⁺-O – 372 см⁻¹; Cu²⁺-O (нитратта, сульфатта) – 336 см⁻¹; Cu⁺-O (тұздарда) – 263 см⁻¹ түріндегі байланыстардың валенттік ауытқуларына сәйкес

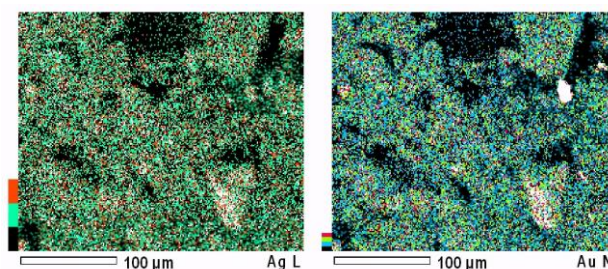
келетін 372, 336, 263 см⁻¹ толқындық сандар кезінде сіңіру жолақтары тіркелген (1-сурет).

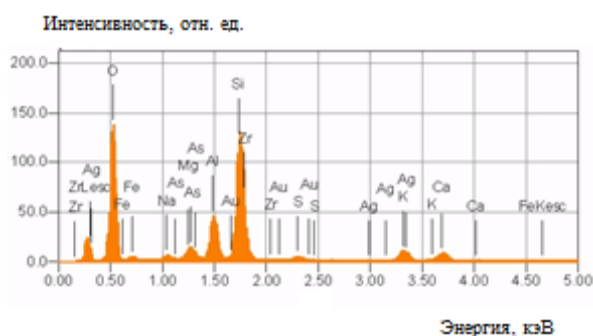


1-сурет – Кеннің бастапқы сынамасының инфрақызыл спектрі

Құрамында алтын бар кендерге кенді минералдардың болуы тән, олардың ішіндегі едәуір маңыздылары пирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, халькопирит болып табылады. Көптеген кенді минералдар кенсіз минералдарға (кварц, шақпақ тас) қарағанда, цианды ерітінділермен өзара әрекеттеседі және бұл кезде алтын мен күмістің еруіне айтарлықтай ықпал етеді [11-14]. Бұл жағдайда мыс, темір, мырыш, роданидтердің кешенді цианидтері түзіле отырып, оттегі мен цианидтің қатысуымен жанама реакциялар жүреді. Бұл ерітіндінің оттегімен жұтануына, бос цианид мөлшерінің төмендеуіне, және осылайша алтын мен күмістің еру жылдамдығының азаюына алып келеді. Сонымен бірге, алтын, әдетте, сульфидті минералдармен тығыз байланысты, сондықтан алтын мен күмісті барынша толық алу үшін сульфидтерді ашу қажет.

Негізгі сульфидті минерал — кеннің бастапқы үлгісінен бөлінген пиритті электронды-микроскопиялық зерттеулер энергодисперсиялық талдауышпен жабдықталған JEOL JXA-8230 растрлық электронды микроскопында (Жапония) орындалды. 2-суретте көріп отырғанымыздай, пириттің құрамында негізгі құрылымдық элементтер – темір мен күкірттен басқа алтын мен күміс те бар.





2-сурет – Кеннің бастапқы үлгісі сынамасының микроқұрылымы (а) және пириттің энергодисперсиялық талдауы

Мөлдір электронды микроскопия қызығушылық тудыратын микро және нанометр өлшемдерінің минералды фазаларын анықтауға, диагностикалауға және зерттеуге мүмкіндік береді. Электронды микроскопияның көмегімен кен бетінің әртектілігі анықталды. Бастапқы сынаманың нәтижелері беткі қабатта металдардың еруіне ықпал ететін оттегі атомдарының байқалғанын көрсетті.

Нәтижелерді талқылау

Қоректік орталарды таңдау және оңтайландыру микробиологиялық зерттеулер жүргізу кезіндегі маңызды міндеттер болып табылады. Орталарды таңдау кезінде биомассаның өсуі мен жинақталуына қажетті компоненттерді ғана емес, сонымен бірге микроағзалардың кейбір қиын сәйкестендірілетін топтарының оңтайлы өсуіне қажетті қосылыстарды да ескеру қажет [15-18]. Кеннен алтынды ашу және биошаймалаудың технологиялық параметрлерін анықтау үшін зерттелетін сынамаға бейімделген *At. Ferrooxidans* зертханалық штаммдары пайдаланылды [19]. Шаймалау ерітінділерінде: As, Sb, Fe²⁺, H₂SO₄, pH мөлшері және *At. Ferrooxidans* бактерияларының саны; циандау ерітінділерінде – Au, NaCN, NaOH; қатты қалдықта Au, Ag, As, Fe, S анықталды. Бұдан басқа, қатты материалдар бактериялық өңдеуге дейін және өңдеуден кейін кенді және кенсіз минералдарға және қатты материалдар құрамының құрылымдық өзгерістеріне талданды [20-25]. Ақбақай кен орнының кендерінен алтынды биохимиялық шаймалау учаскесінің негізгі операциялары: қоректік ортаны дайындау; бактериялардың биомассасын өсіру; шаймалауға арналған ерітіндіні дайындау; кенді биохимиялық шаймалау болып табылады.

Зерттеулер кезінде мынадай технологиялық операциялар орындалды: кенді бактериялардың тіршілік қызметіне кері әсерін тигізетін қоспалардың қалдықтарынан жуып-шаю (Қ:С=1:4; H₂SO₄ – 1-2 %; Т – 15-28 °С; агитация уақыты – 3 сағ.); жуылған кектен алтынды бактериялық ашу (Қ:С=1:4; pH – 1,5-2; Fe³⁺ - 5-6 г/дм³; *At. Ferrooxidans* бактерияларының мөлшері – 10⁷ кл/мл; агитацияның ұзақтығы – 5-7 тәулік); бактериялық өңдеуден кейін кекті бейтарап pH дейін жуып-шаю және pH = 10 дейін көтеру; циандау арқылы биошаймалау кектерінен алтынды алу (Қ:С=1:4; NaOH – 0,1-0,5 %; NaCN – 0,1-0,2 %; ұзақтығы – 24 және 36 сағ.).

Сіңіру қалдықтарын қайта өңдеудің оңтайлы параметрлері шаймалаудың әртүрлі нұсқаларын салыстыру арқылы таңдалды. Тәжірибе шарты төрт нұсқа бойынша жүзеге асырылды:

1. Алдын ала қышқылмен өңдеу (2 % H₂SO₄; Қ:С = 1:4; t = 15–25 °С; τ = 3 сағ.), кекті бейтараптандыру, агитациялық циандау (Қ:С= 1:4; 0,1–0,5 г/л NaOH; 0,1 % NaCN; = 18, 24 және 36 сағ.);

2. Алдын ала қышқылмен өңдеу (2 % H₂SO₄; Қ:С = 1:4; t = 15–25 °С; τ = 3 с), 5-7 тәулік бойы биототықтыру, кекті бейтараптандыру, циандау, (0,2 % NaCN, 1 % NaClO, Қ:С=1:1, уақыты – 18, 24 және 36 сағ.);

3. Алдын ала қышқылмен өңдеу (2 % H₂SO₄; Қ:С = 1:4; t = 15–25 °С; τ = 3 сағ.), 5-7 тәулік бойы биототықтыру, кекті бейтараптандыру, циандау, (0,2 % NaCN, 1 % NaClO, Қ:С=1:3, уақыты – 18, 24 және 36 сағ.);

4. Алдын ала қышқылмен өңдеу (2 % H₂SO₄; Қ:С = 1:4; t = 15–25 °С; τ = 3 сағ.), кекті бейтараптандыру, циандау, (0,2 % NaCN, 1 % NaClO, Қ:С=1:1, уақыты – 18, 24 және 36 сағ.).

Кенді тотықтыру құрамында 5,0-6,0 г/л Fe³⁺ бар, 3,0 г/л H₂SO₄ дейін болатын; pH = 2,5 кезінде; Қ:С=1:4, ұзақтығы 5-7 тәулік және *At. ferrooxidans* бактерияларының мөлшері 10⁷ кл/мл дейін болатын бактериялық ерітіндіні қолдана отырып жүргізілді. Биототықтырудың қатты қалдықтары (кек) бейтарап pH мәнге дейін сумен шайылды және одан әрі циандау жүргізілді (Қ:С=1:4; NaOH - 0,1 - 0,5 г/л, NaCN - 0,1 %; уақыты – 18, 24 және 36 сағ.).

Нәтижесінде кенді қайта өңдеудің әртүрлі нұсқалары бойынша алтынды алудың келесі көрсеткіштеріне қол жеткізілді: 1-ші нұсқа - 46,4; 2-ші нұсқа - 66,1; 3-ші нұсқа - 78,1; 4-ші нұсқа – 52,9. Алынған нәтижелер кенді бактериялық шаймалау кезінде сульфидтердің тотығатынын, берік алтынның ашылатынын және натрий

гипохлоритінің қатысуымен биототықтыру қалдықтарын одан әрі циандау кезінде алтынның алынатынын көрсетеді. Алтынды алу мөлшері кенді қайта өңдеудің 2-ші және 3-ші нұсқаларында тиісінше 66,1 және 78% дейін жетеді.

Эксперименттер 3-ші нұсқада одан әрі циандау арқылы бактериялық ашудан кейін және натрий гипохлоритінің қатысуы кезінде кеннен алтынды алу мөлшері 28 °С температура кезінде 78,1 % құрайтынын көрсетті.

Зерттеулердің нәтижесінде кеннен алтынды биошаймалау учаскесінің негізгі технологиялық операциялары: қоректік ортаны таңдау және дайындау, минералдық құрамға бейімделген бактериялардың биомассасын өсіру болып табылады.

Қорытындылар

Зерттелетін сынамадағы алтынның мөлшері 3,67 г/т, күміс - 3,2 г/т құрайтыны анықталды. Алтын пиритте ұсақ түйіршіктер түрінде болатыны анықталды. Микробиологиялық зерттеулердің нәтижесінде зерттелетін сынама

микрофлорасының құрамында негізінен сол кен орнының қазіргі технологиялық процестерінің шарттарына бейімделген гетеротрофты микроағзалар анықталғаны белгілі болды. *At. ferrooxidans* тионды темірді тотықтырғыш бактерияларының қарқынды өсуі мен дамуы үшін оңтайлы орта болып табылады.

Ақбақай кен орнының кендерін қайта өңдеудің биогидрометаллургиялық технологиясы әзірленді. Биототықтыру 5-7 тәулікке созылған кезде 36 сағаттың ішінде циандау арқылы алтынды алу мөлшері 78,1% құрайды.

Конфликт

Барлық авторлардың атынан корреспондент автор мүдделер қақтығысының жоқ екенін мәлімдейді.

Алғыс білдіру

Зерттеу ҚР БҒМ Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен орындалды. (Грант N AP 08856780).

Осы мақалаға сілтеме: Қойжанова А. Қ., Седельникова Г. В., Ерденова М. Б., Беркинбаева А. Н., Камалов Э. М. Алтын шығаратын фабриканың кендерінен алтын алудың биогидрометаллургиялық технологиясы // *Комплексное использование минерального сырья = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu.* - 2021. №1 (316), б. 24-31 <https://doi.org/10.31643/2021/6445.03>

Cite this article as: Koizhanova A. K., Sedelnikova G. V., Erdenova M. B., Berkinbaeva A. N., Kamalov E. M. Altın şıġaratın fabrikaniñ kenderinen altın alwdıñ biogidrometallurgiyalıq tehnologiyası [Study of biohydrometallurgical technology used to recover gold from ore at a gold-recovery plant]. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu.* - 2021. № 1 (316), pp. 24-31. (In Kazakh). <https://doi.org/10.31643/2021/6445.03>

Исследование биогидрометаллургической технологии извлечения золота из руды золотоизвлекающей фабрики

^{1*}Койжанова А. К., ²Седельникова Г. В., ¹Ерденова М. Б., ¹Беркинбаева А. Н., ¹Камалов Э. М.

¹ *Satbayev University, Институт Металлургии и Обогащения, Алматы, Казахстан*

² *Обособленное подразделение «Геотехнологический центр», АО «Росгеология», Москва, Россия*

* Электронная почта корреспондент-автора: aigul_koizhan@mail.ru, a.koizhanova@satbayev.university

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты исследований режимов биохимического вскрытия минерального сырья с использованием тионовых бактерий *Acidithiobacillus ferrooxidans* определенного штамма, способных окислять сульфидные минералы. Осуществлен отбор представительной пробы минерального сырья и проведены ее физико-химические исследования. Установлены оптимальные условия выщелачивания минерального сырья биохимическими растворителями исходя из различных факторов (температуры, Т:Ж). В процессе исследований применялись современные физические и химические методы анализа: рентгенофлуоресцентный, рентгенофазовый, минералогический, электронно-

*Статья поступила: 13 января 2021
Рецензирование: 05 февраля 2021
Принята в печать: 22 февраля 2021*

зондовый, химический анализы, ИКС методы исследования фазового состава руд и изменений, происходящих в структуре минералов. Химический состав измельченной до крупности - 0,074 мм пробы руды следующий, мас. %: SiO₂ - 60,11; Al₂O₃ - 6,2; Zn - 0,016; Cu 0,10; Fe - 2,5; S - 0,50; Au - 3,67 г/т; Ag - 3,2 г/т. В данной работе рассматриваются различные варианты агитационного выщелачивания с предварительной кислотной промывкой, бактериальным вскрытием и окислительным разложением минералов с помощью гипохлорита натрия. Полученные результаты, показали, что наиболее эффективными для повышения извлечения золота рекомендуется проводить бактериальное окисление руды с применением ацидофильных бактерий *At. ferrooxidans*, предварительно адаптированных к вещественному составу исследуемой пробы, за которым следуют обработка раствором гипохлорита натрия и цианирование. Биогидрометаллургическая переработка руды обеспечивает высокое извлечение золота (78,1 %).

Ключевые слова: руда, золото, биохимическое выщелачивание, *At. ferrooxidans*, гипохлорит натрия, цианирование.

Койжанова Айгуль Кайргельдыевна	Информация об авторах: Кандидат технических наук, заведующая лабораторией спецметодов гидрометаллургии, Satbayev University, Институт металлургии и обогащения, 050010, ул. Шевченко, 29/133, Алматы, Казахстан. ORCID ID: 0000-0001-9358-3193. Email: :aigul_koizhan@mail.ru, a.koizhanova@satbayev.university
Седельникова Галина Васильевна	Доктор технических наук, директор Обособленного подразделения «Геотехнологический центр», АО «Росгеология», Москва, Россия, Херсонская улица, д. 43, корпус 3. email: gvsedelnikova@rusgeology.ru
Ерденова Мария Бейсенбековна	Магистр, младший научный сотрудник лаборатории спецметодов гидрометаллургии, Satbayev University, Институт металлургии и обогащения, 050010, ул. Шевченко, 29/133, Алматы, Казахстан, https://orcid.org/0000-0002-7496-5097 , email: erdenova_mariya@mail.ru.
Беркинбаева Айнуур Нуркалиевна	Кандидат технических наук, заведующая химико-аналитической лабораторией, Satbayev University, Институт металлургии и обогащения, 050010, ул. Шевченко, 29/133, Алматы, Казахстан, https://orcid.org/0000-0002-2569-9087 , email: ainur_kbk@mail.ru
Камалов Эмиль Максумович	Старший научный сотрудник, лаборатории спецметодов гидрометаллургии, Satbayev University, Институт металлургии и обогащения, 050010, ул. Шевченко, 29/133, Алматы, Казахстан, https://orcid.org/0000-0002-6073-348X , email: emil-kamalov@mail.ru

Литература

- [1] Дементьев В.Е., Дружина Г.Я., Гудков С.С. Кучное выщелачивание золота и серебра. – Иркутск: Иргиредмет. -2004. - 350 с.
- [2] Каравайко Г.И., Дубинина Г.А., Кондратьева Т.Ф. Литотрофные микроорганизмы окислительных циклов серы и железа // *Микробиология*. 2006. Т. 75, № 5. – С. 593-629.
- [3] Койжанова А.К., Арыстанова Г.А., Седельникова Г.В., Есимова Д.М. Исследование биогидрометаллургической технологии извлечения золота из хвостов сорбции золотоизвлекающей фабрики // *Цветные металлы*. 2016. № 9. – С. 52 -56.
- [4] Седельникова Г.В., Савари Е.Е., Заулочный П.А., Кошель Е.А. Извлечение золота из упорных высокосульфидных концентратов с применением биогидрометаллургии // *Цветные металлы*. 2012. № 4. – С. 37–41.
- [5] Willner J., Fornalczyk A. Extraction of metals from electronic waste by bacterial leaching // *Environment protection engineering*. - 2013. Vol. 39, No. 1. - P. 197–208.
- [6] Смолянинов В. В., Шехватова Г. В., Вайнштейн М. Б. Выщелачивание золота политионатами (новые нетоксичные технологии) / *Цветные металлы* - 2012: сб. науч. статей. - Красноярск: Версо -2012. - С. 617–624.
- [7] Johnson D. B., Graill B. M., Hallberg K. B. A new direction for biomining: extraction of metals by reductive dissolution of oxidized ores // *Minerals*. 2013. No. 3 (1). P. 49–58.
- [8] Nancharaiyah Y. V., Venkata Mohan S., Lens P. N. L. Biological and bioelectrochemical recovery of critical land scarce metals // *Trends in Biotechnology*. - 2016. Vol. 34, No. 2. P. 137–155.
- [9] Hussin A. M. Ahmed, Ayman A. El-Midany. Statistical optimization of gold recovery from difficult leachable sulphide minerals using bacteria // *Materials Testing*. 2012. Vol. 54, No. 5. P. 351–357.
- [10] Koizhanova A.K., Toktar G., Craig E. Banks., Magomedov D.R., Kubaizhanov A.A. Research of hydrometallurgical method of leaching gold from flotation tails with using bio-oxidation. // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*. - 2020. № 3 (314), pp. 28-39. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.24>
- [11] Койжанова А.К., Кенжалиев Б.К., Кульдеев Е.И., Камалов Э.М. Исследования технологии извлечения золота из отработанных штабелей руды кучного выщелачивания // *Обогащение руд*. - 2019. - № 3. - С. 54-59.
- [12] Hackl R.P., Wright F. R. Gormely L.S. Bioleaching of refractory gold ores-out of the lab into the plant // *Biohydrometallurgy*. 1989. – P.533-549.
- [13] Полькин С.И., Адамов Э.В., Панин В.В. Технология бактериального выщелачивания цветных и редких металлов. М., Недра, 1982. -286 с.
- [14] Полькин С.И., Адамов Э.В., Панин В.В. Чановый процесс бактериального выщелачивания. Технология и схемы переработки цветных металлов. // *Биогеотехнология металлов*, 1985. - С. 243.
- [15] Романенко Е.А., Косаковская И.В., Романенко П.А. Фитогормоны микроводорослей: биологическая роль и участие в

- регуляции физиологических процессов. Ч. II. Цитокинины и гиббереллины // Альгология. - 2016. Т. 26. - С. 203-229.
- [16] Чекунова Е. М., Яронская Е. Б., Ярцева Н. В., Аверина Н. Г. Новые факторы регуляции магний-хелатазы у зеленой водоросли *Chlamydomonas reinhardtii* // Физиология растений. 2014. Т. 61. - С.187–196.
- [17] Чекунова Е.М., Шалыго Н.В., Яронская Е.Б., Аверина Н.Г., Чунаев А.С. Регуляция биосинтеза предшественников хлорофилла у мутантов зеленой водоросли *Chlamydomonas reinhardtii* // Биохимия. 1993. Т. 58. Вып. 9. - С.70–73.
- [18] Attia Y.A. *Biotechnology in mineral processing*. 1990. Vol.42, №5, p.497.
- [19] Бектурганов Н. С., Арыстанова Г. А., Койжанова А. К., Ерденова М. Б. Сравнительное изучение эффективности способов извлечения золота из техногенных хвостов флотации // Цветные металлы. - 2016. № 10. –С. 69-72.
- [20] Kenzhaliyev B.K., Koizhanova A.K., Magomedov D.R., Kamalov E.M., Erdenova M.B., Abdyldaev N.N. A study of the biohydrometallurgical method for extracting gold from flotation tailings // *Metalurgija* - 2020. - Vol. 59. - №4. - pp.477 – 480.
- [21] Койжанова А. К., Ерденова М. Б., Осиповская Л. Л., Магомедов Д. Р., Даришева А. М. Совершенствование технологии кучного выщелачивания золота из упорных полиметаллических руд // Комплексное использование минерального сырья. - 2015. - № 1. - С. 30–36. <https://doi.org/10.31643/2018/166445>
- [22] Koizhanova A.K., Kenzhaliyev B.K., Kamalov E.M., Erdenova M.B., Magomedov D.R., Abdyldaev N.N. Research of gold extraction technology from technogenic raw material // *News of the Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series chemistry and technology*. 2020. Volume 1, Number 439. –P.95 – 101. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1491.12>
- [23] Kenzhaliyev B. K. Innovative technologies providing enhancement of nonferrous, precious, rare and rare earth metals extraction // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a (Complex Use of Mineral Resources)*. – 2019. – №3 (310). - Page: 64-75. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.30>
- [24] Yessengarayev Ye.K., Surimbayev B.N., Baimbetov B.S., Mamyachenkov S.V., Kanaly T.S. Ore treatment hydrogen peroxide during heap leaching of gold. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*. 2021. №1(316), pp. 5-14. <https://doi.org/10.31643/2021/6445.01>
- [25] Койжанова А.К., Седельникова Г.В., Камалов Э.М., Ерденова М.Б., Абдылдаев Н.Н. К вопросу извлечения золота из лежалых хвостов золотоизвлекательной фабрики // *Отечественная геология*. 2017. № 6. –С. 78-103.

Reference

- [1] Dement'yev V.Ye., Druzhina G.YA., Gudkov S.S. *Kuchnoye vyshchelachivaniye zolota i serebra*. [Heap leaching of gold and silver] – Irkutsk: Irgiredmet. -2004. -350 s. (in Russ).
- [2] Karavayko G.I., Dubinina G.A., Kondrat'yeva T.F. *Litotrofnyye mikroorganizmy oksilitel'nykh tsiklov sery i zheleza* [Lithotrophic microorganisms of oxidative cycles of sulfur and iron] // *Mikrobiologiya*. 2006. Т. 75. № 5. P. 593-629. (in Russ).
- [3] Koyzhanova A.K., Arystanova G.A., Sedel'nikova G.V., Yesimova D.M. *Issledovaniye biogidrometallurgicheskoy tekhnologii izvlecheniya zolota iz khvostov sorbtsii zolotoizvlekatel'noy fabriki* [Extraction of gold from refractory high-sulfide concentrates using biohydrometallurgy] // *Tsvetnyye metally*. 2016. № 9. P. 52 -56. (in Russ).
- [4] Sedel'nikova G.V., Savari Ye.Ye., Zaulochnyy P.A., Koshel' Ye.A. *Izvlecheniye zolota iz upornykh vysokosul'fidnykh kontsentratoov s primeneniym biogidrometallurgii* [Extraction of gold from refractory high-sulfide concentrates using biohydrometallurgy] // *Tsvetnyye metally*. 2012. № 4. – P. 37–41. (in Russ).
- [5] Willner J., Fornalczyk A. Extraction of metals from electronic waste by bacterial leaching // *Environment protection engineering*. - 2013. Vol. 39, No. 1. - P. 197–208. (In Eng.).
- [6] Smolyaninov V.V., Shekhvatova G. V., Vaynshteyn M. B. *Vyshchelachivaniye zolota politionatami (novyye netoksichnyye tekhnologii)* [Leaching of gold with polythionates (new non-toxic technologies)] / *Tsvetnyye metally* - 2012: sb. nauch. statey. - Krasnoyarsk: Verso -2012. P. 617–624. (in Russ).
- [7] Johnson D. B., Grail B. M., Hallberg K. B. A new direction for biomining: extraction of metals by reductive dissolution of oxidized ores // *Minerals*. 2013. No. 3 (1). P. 49–58. (In Eng.).
- [8] Nancharaiah Y. V., Venkata Mohan S., Lens P. N. L. Biological and bioelectrochemical recovery of critical and scarce metals // *Trends in Biotechnology*. - 2016. Vol. 34, No. 2. P. 137–155. (In Eng.).
- [9] Hussin A. M. Ahmed, Ayman A. El-Midany. Statistical optimization of gold recovery from difficult leachable sulphide minerals using bacteria // *Materials Testing*. 2012. Vol. 54, No. 5. P. 351–357. (In Eng.).
- [10] Koizhanova A.K., Toktar G., Craig E. Banks., Magomedov D.R., Kubaizhanov A.A. Research of hydrometallurgical method of leaching gold from flotation tails with using bio-oxidation. // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*. - 2020. № 3 (314), pp. 28-39. (In Eng.). <https://doi.org/10.31643/2020/6445.24>
- [11] Koizhanova A.K., Kenzhaliyev B.K., Kul'deyev Ye.I., Kamalov E.M. *Issledovaniya tekhnologii izvlecheniya zolota iz otrabotannykh shtabeley rudy kuchnogo vyshchelachivaniya* [Research on the technology of extracting gold from spent heap leaching ore piles] // *Obogashcheniye rud*. - 2019. - № 3. - P. 54-59. (in Russ).
- [12] Hackl R.P., Wright F. R. Gormely L.S. *Bioleaching of refractory gold ores-out of the lab into the plant* // *Biohydrometallurgy*. 1989. – P.533-549. (In Eng.).
- [13] Pol'kin S.I., Adamov E.V., Panin V.V. *Tekhnologiya bakterial'nogo vyshchelachivaniya tsvetnykh i redkikh metallov*. [Technology of bacterial leaching of non-ferrous and rare metals.] М., Nedra,1982. -286 p. (in Russ).
- [14] Pol'kin S.I., Adamov E.V., Panin V.V. *Chanovyyj process bakterial'nogo vyshchelachivaniya. Tekhnologiya i skhemy pererabotki cvetnykh metallov*. [Vat process of bacterial leaching. Technology and schemes for processing non-ferrous metals] // *Biogekhnologiya metallov*, 1985. - S. 243. (in Russ).

- [15] Romanenko Ye.A., Kosakovskaya I.V., Romanenko P.A. Fitogormony mikrovdorosley: biologicheskaya rol' i uchastiye v regulyatsii fiziologicheskikh protsessov. CH. II. Tsitokininy i gibberelliny [Phytohormones of microalgae: biological role and participation in the regulation of physiological processes. Part II. Cytokinins and gibberellins] // *Al'gologiya*. - 2016. T. 26. - P. 203-229. (in Russ).
- [16] Chekunova Ye. M., Yaronskaya Ye. B., Yartseva N. V., Averina N. G. Novyye faktory regulyatsii magniy-khelatazy u zelenoy vodorosli *Shlamydomonas reinhardtii* [New factors of regulation of magnesium chelatase in green alga *Chlamydomonas reinhardtii*] // *Fiziologiya rasteniy*. 2014. T. 61. - P.187–196. (in Russ).
- [17] Chekunova Ye.M., Shalygo N.V., Yaronskaya Ye.B., Averina N.G., Chunayev A.S. Regulyatsiya biosinteza predshestvennikov khlorofilla u mutantov zelenoy vodorosli *Shlamydomonas reinhardtii* [Regulation of the biosynthesis of chlorophyll precursors in mutants of the green alga *Chlamydomonas reinhardtii*] // *Biokhimiya*. 1993. T. 58. Vyp. 9. - P.70–73.(in Russ).
- [18] Attia Y.A. Biotechnology in mineral processing. 1990. Vol.42, №5, p.497. (In Eng.).
- [19] Bekturganov N. S., Arystanova G. A., Koyzhanova A. K., Yerdenova M. B. Sravnitel'noye izucheniye effektivnosti sposobov izvlecheniya zolota iz tekhnogennykh khvostov flotatsii [Comparative study of the efficiency of methods for recovering gold from technogenic flotation tailings] // *Tsvetnyye metally*. - 2016. № 10. –P. 69-72. (in Russ).
- [20] Kenzhaliyev B.K., Koizhanova A.K., Magomedov D.R., Kamalov E.M., Erdenova M.B., Abdyldaev N.N. A study of the biohydrometallurgical method for extracting gold from flotation tailings // *Metalurgiya* - 2020. - Vol. 59. - №4. - P.477 – 480. (In Eng.).
- [21] Koizhanova A. K., Yerdenova M. B., Osipovskaya L. L., Magomedov D. R., Darisheva A. M. Sovershenstvovaniye tekhnologii kuchnogo vyshchelachivaniya zolota iz upornykh polimetallicheskih rud [Improvement of heap leaching technology for gold from refractory polymetallic ores] // *Kompleksnoye ispol'zovaniye mineral'nogo syr'ya*. - 2015. - № 1. - P. 30–36. (in Russ). <https://doi.org/10.31643/2018/166445>
- [22] Koizhanova A.K., Kenzhaliyev B.K., Kamalov E.M., Erdenova M.B., Magomedov D.R., Abdyldaev N.N. Research of gold extraction technology from technogenic raw material // *News of the Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series chemistry and technology*. 2020. Volume 1, Number 439. –P.95 – 101. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1491.12> (In Eng.).
- [23] Kenzhaliyev B. K. Innovative technologies providing enhancement of nonferrous, precious, rare and rare earth metals extraction // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a (Complex Use of Mineral Resources)*. – 2019. – №3 (310). - Page: 64-75. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.30> (In Eng.).
- [24] Yessengarayev Ye.K., Surimbayev B.N., Baimbetov B.S., Mamyachenkov S.V., Kanaly T.S. Ore treatment hydrogen peroxide during heap leaching of gold. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*. 2021. №1(316), pp. 5-14. (In Eng.). <https://doi.org/10.31643/2021/6445.01>
- [25] Koizhanova A.K., Sedel'nikova G.V., Kamalov E.M., Yerdenova M.B., Abdyldayev N.N. K voprosu izvlecheniya zolota iz lezhalykh khvostov zolotoizvlekatel'noy fabriki [On the issue of extracting gold from stale tailings of a gold recovery plant] // *Otechestvennaya geologiya*. 2017. № 6. –P. 78-103. (in Russ).



UDC 691. 33

DOI: 10.31643/2021/6445.04



IRSTI 67.09.55

Granular magnesia compositions

Miryuk O. A.

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

Corresponding author email: psm58@mail.ru

Received: 29 January 2021
Peer reviewed: 09 February 2021
Accepted: 23 February 2021

ABSTRACT

The results of studies of granular materials from magnesia compositions are presented. To obtain the compositions, fillers of various origins were used: sawdust, wheat husk, rubber and cork crumbs, ash microsphere. The formulations of molding mixtures that ensure the production of granules by the method of pelletizing are determined. The factors of influence on the strength of granules at various stages of the technological process are revealed. Methods for reducing the density of magnesia granular materials by combining various types of fillers and introducing a gas-forming agent are proposed. The use of caustic magnesite ensures reliable bonding of the filler particles in the granules. Features of hydrate formation of magnesia binders allows the use of low-temperature processing of raw granules. The expediency of increasing the temperature of the salt reclude to accelerate the hardening of the porous granules is shown. Magnesia granules with a bulk density of 400 – 500 kg/m³ were obtained. The work is aimed at creating a resource-saving technology of non-annealed granular aggregates for light concrete.

Keywords: Caustic magnesite, filler, composition, granules, porous structure.

Information about author:

Doctor of Technical Sciences, Professor. Head of the department of building construction materials, Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan.

ORCID ID: 0000-0001-6892-2763. Email: psm58@mail.ru

Miryuk Olga Aleksandrovna

Introduction

The modern industrial policy of Kazakhstan concentrates efforts on the development of "green" technologies, the production of new efficient materials.

Concrete is the most common composite material. Aggregate is the dominant component that makes up 70 - 80% of the mass and determines the structure and properties of concrete.

Lightweight concrete based on porous aggregates are composite materials for energy-efficient construction [1 - 4]. The structural and geometrical characteristics of the porous aggregate make it possible to regulate the structure of composite materials, determine the thermal and physical and mechanical characteristics of lightweight concrete.

Porous aggregate is obtained from natural raw materials as a result of mechanical processing, as well as by chemical transformations during deep processing of the original mass. Technogenic

granular materials of mineral and organic origin can serve as a raw material for the production of porous aggregates in roasting and non-firing technologies.

Improvement of firing technologies made it possible to create porous granular materials of a new generation: highly porous sodium silicate powder from liquid glass [5, 6]; glass-ceramic foam multifunctional granular materials (kerpen, thermogran) [7]; granular nanostructuring filler with prolonged action [8-10]; granular microporous material using a burnout additive [11-13]

Research aimed at reducing the density and increasing the strength of aggregates, reducing the energy intensity of production is relevant [2, 4, 14 - 17]. Non-fired aggregates technologies provide for the production of composite granules in which the filler particles are held together by a binder. Ash of heat power engineering, microsilica and other finely dispersed materials are used as fillers [3, 5, 8]. Two-layer granule technologies are effective, based on the creation of a light porous core, on

which a dense layer is applied. Modern technology of porous granular materials, as a rule, is based on the use of molding sands or several raw materials, successively forming a porous structure of granules.

Most of the non-fired aggregates are produced on the basis of cements, which leads to technological difficulties in molding and relatively high values of the density of granules. To develop the technology of granular porous materials, it is necessary to expand the raw material base.

Raw materials of Kazakhstan are capable of providing the production of porous aggregates using oil shale, ash from heat power engineering, ore and coal processing waste, metallurgical slags and other technogenic materials, the properties of which are often poorly understood. When used car tires are recycled, a number of valuable materials are formed. Waste from the processing of grain crops (for example, wheat and rice husks) accumulates in regions with a developed agricultural sector.

Non-fired granules should be considered as a composite material, the matrix of which is a binder that connects the filler particles into a given structure. Porization of granules is ensured by the use of various fillers of the appropriate structure and the introduction of a special component - a pore former. Stability of highly porous granules is achieved by forming a dense shell by, for example, dusting with binders.

Analysis of technological solutions for obtaining non-fired granules made it possible to determine the criteria for the selection of raw materials for granular materials (table 1).

Table 1 - Criteria for the selection of materials for porous granules

<i>Materials for non-firing technologies</i>	
<i>function in the raw mix</i>	<i>criteria</i>
Matrix - binder	dispersion
	adhesion
	hardening intensity
	strength
Steam generating component	felting
	gassing
	porous structure
	adhesion
Dusting component - astringent	dispersion
	adhesion
	hydration activity

Magnesian binders are distinguished by intensive hardening, high strength properties, expressive adhesion to materials of various origins

[18 - 21]. Information about magnesian granular materials is very limited.

The purpose of the work is to study non-fired granules based on magnesian binders.

Experimental part

To obtain granules, we used caustic magnesite powder - 75 with an active MgO content of 75 - 85%, fillers of various origins and states. Ash microsphere of energy ash - hollow solid particles with a predominant diameter of 100 - 250 microns and a bulk density of 400 kg / m³. Wood sawdust - particles formed during cross and longitudinal sawing of timber, sawn timber, with a bulk density of 210 kg / m³. Wheat husk - grain processing waste with a bulk density in a crushed state of 220 kg / m³.

Rubber crumb is particles of 1.5 - 3.0 mm in size, formed during the processing of car tires, with a bulk density of 610 kg / m³. Cork chips is granular mass with a particle size of 2.5 - 3.0 mm, obtained from production and consumption waste of bottle corks, with a bulk density of 160 kg / m³.

Molding mixtures were prepared by thorough mixing of caustic magnesite with different proportions of filler. For mixing the molding sands, a magnesium chloride solution with a density of 1230 kg / m³ was used. The content of the salt grout provided forming properties at close values of the water-binding ratio. Formation of granules with a diameter of 10 - 12 mm was carried out by the method of rolling using a laboratory granulating device. The strength of the raw granules was assessed by the compressive load with fixation of the moment of the appearance of cracks and destruction of the granules. The strength of the hardened granules was determined using a hydraulic press. To accelerate hardening, the granules were heat treated at a temperature of 50 ° C.

Discussion of the results

The rolling of magnesia mixtures occurs with the participation of gravity forces, dry friction, mechanical engagement, electrostatic interaction; in the presence of a liquid phase - forces of capillary-adsorption interaction, viscous resistance. The role of these forces is reduced to both structure formation and the preservation of the properties of the structure. The strength of the granules is ensured by the presence of structural

bonds. The results of the study of granulation of magnesia mixtures of various compositions indicate that with an increase in the amount of filler, the cohesion of the masses and the strength of the raw granules decrease (table 2).

Comparison of the characteristics of molding sands with sawdust of various sizes indicates that with the enlargement of particles, pelletizing becomes more difficult. This limits the proportion of woody component in the mixture.

For magnesia mixtures that exhibit a weak ability to pelletize, the pressing method is advisable.

To form a coherent molding mass and obtain stable granules from wheat husks, it is advisable to grind the material to particles with a size of 0.315 - 0.63 mm.

Particles of cork and rubber crumb are larger than the fine fraction of sawdust, but the lumpiness of these mixtures is superior to magnesian wood pulps. Cork and rubber chips have irregular shape geometry, are distinguished by elasticity, low water absorption, which promotes rounding with the help of magnesia suspension, which is characterized by high adhesion to surfaces of various compositions and conditions.

The smooth surface of the ash microsphere is capable of increasing the molding properties of the magnesia mixture. On the other hand, the high specific surface area of the porous filler particles emaciates the molding mass. The ash microsphere

is characterized by the smallest grain size and exhibits the worst granulation properties under experimental conditions. Therefore, the size of the filler particles determines the pelletization of only compositionally related masses and does not apply to other mixtures.

Heat treatment at a temperature of 50 ° C for 4 hours accelerates the hardening of the granules. The choice of the drying temperature is due to the rate of hardening of the magnesian binder and the peculiarities of hydrate formation.

The properties of the granules depend on the type of filler (table 3). The quality factor, defined as the ratio of strength to density of the material, was used for the comparative evaluation of the granules. By the type of filler, the granules are arranged in descending order of the quality factor: wheat husk → sawdust → ash microsphere → cork crumb → rubber crumb.

To reduce the density of magnesia granules, the possibility of additional porosity of the molding mass based on sawdust with the help of a gas generator - perhydrol was investigated (table 4).

When adding a blowing agent, the raw mixture swells, the molding mass acquires increased plasticity. This allows you to reduce the proportion of the liquid component in mixtures with a low content of sawdust. The cohesion and granularity of the molding materials are increased, including 25 and 35% filler.

Table 2 - Influence of the composition of the molding mixture on granulation

<i>caustic magnesite</i>	<i>Molding sand composition, %</i>		<i>magnesium chloride solution</i>	<i>Visual assessment of mixture connectivity</i>	<i>Strength raw granules, N / granule</i>
	<i>filler</i>				
	<i>type</i>	<i>quantity</i>			
52	sawdust, 0,14 – 1,25 mm	15	33	high	25
38		25	37	high	23
26		35	39	medium	20
52	sawdust, 1,25 – 2,5 mm	10	38	high	20
45		15	40	medium	19
37		20	43	low	17
51	wheat husk, 0,315 – 0,63 mm	15	34	high	26
40		25	35	high	23
27		35	38	medium	21
54	cork chips, 1,25 – 2,5 mm	15	31	high	26
40		25	35	high	23
28		35	37	medium	20
54	rubber crumb, 1,25 – 2,5 mm	15	31	high	26
40		25	35	high	24
28		35	37	medium	19
56	ash microsphere, 0,05 – 0,10 mm	10	34	high	22
47		15	38	medium	19
37		20	43	low	13

Table 3 - Influence of the type of filler on the properties of magnesia granules






<i>Type and content of filler in the mixture</i>				
Sawdust, 0,14 – 1,25 mm 25%	Wheat husk, 0,315 – 0,63 mm 25%	Cork crumb, 1,25 – 2,5 mm 20%	Rubber crumb, 1,25 – 2,5 mm 20%	Ash microsphere, 0,05 – 0,10 mm 15%
<i>Density, kg / m³</i>				
740	720	830	890	780
<i>Strength of granules, MPa</i>				
5,8	6,5	5,5	5,9	5,5
				

Table 4 - Influence of perhydrol on the properties of magnesia mixture and granules

Content of wood filler in the mixture, %	Gas generator additive, %	Attitude "Liquid: solid"	Bulk density of granules, kg / m ³
15	0	0,50	580
	1,5	0,50	560
	2,5	0,48	470
	3,5	0,46	410
25	0	0,58	520
	1,5	0,58	490
	2,5	0,58	420
	3,5	0,57	380
35	0	0,65	460
	1,5	0,64	430
	2,5	0,64	370
	3,5	0,64	340

The influence of the blowing agent is extreme. An improvement in the forming properties is observed at a content of 2.5% perhydrol, a subsequent increase in the proportion of the blowing agent is accompanied by a decrease in the stability of the granules: a tendency to sticking is manifested. The introduction of a blowing agent into the molding mixture made it possible to reduce the bulk density of the granules by an average of 25 - 30%.

Caustic magnesite is the basis of magnesian molding materials, characterized by intensive hardening. However, for porous molding sands, there are difficulties in hardening in a technologically acceptable time.

An increase in the temperature of the salt grout makes it possible to increase the strength of the raw granules, to accelerate the hardening of the hardened granules (figure 1). The use of a grout, heated to 35 ° C, provides an increase in strength to the technologically required values during heat

treatment for 3 hours. A subsequent increase in the temperature of the saline solution and an increase in the duration of the thermal effect on the granules are inappropriate due to low efficiency.

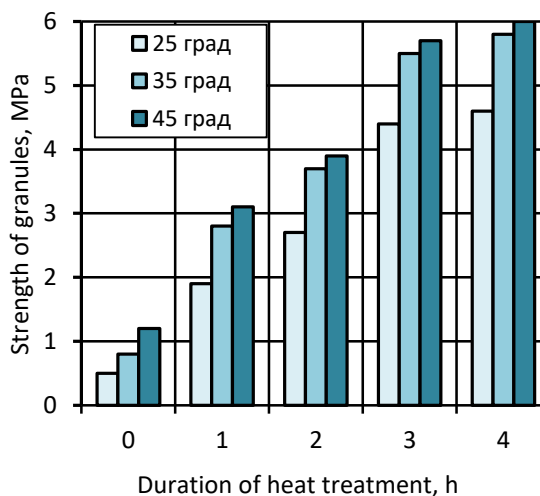
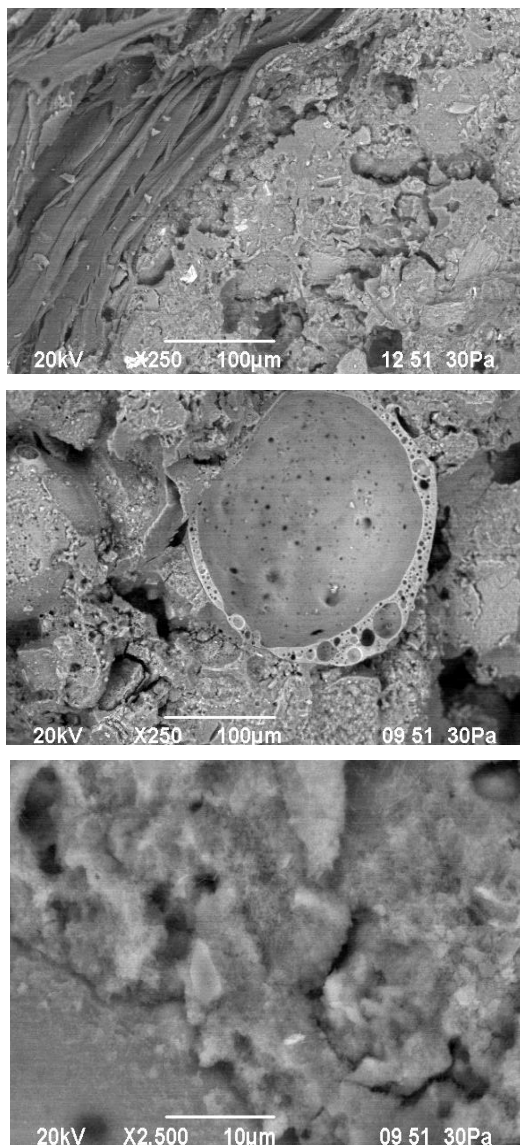


Figure 1 - Influence of the temperature of the grout on the hardening of magnesia granules based on wood filler

The high strength of the granules is facilitated by the reliable contact of the fillers with the magnesian matrix, the crystalline base of which is formed by fibrous magnesium hydroxychlorides (Figure 2).

Another way to reduce the density of magnesia granules is the use of combined fillers, for example, wood particles and ash microspheres (Figure 3).



Picture 2 - Microstructure of magnesia granules



Figure 3 - Magnesia granule with combined filler

The combination of fillers of various shapes allows you to adjust the molding properties of the raw materials and the structure of granules with a bulk density of 470 - 550 kg / m³.

Conclusions

The possibility of obtaining granular materials based on magnesian compositions has been proven.

High adhesion of caustic magnesite ensures the cohesion of the molding mixtures, reliable adhesion of filler particles of various origins.

Compositions based on technogenic fillers of plant origin or their combination with an ash microsphere are preferred.

To obtain granules of reduced density, it is effective to introduce a blowing agent into the molding mixture.

Intensive hardening of caustic magnesite provides hardening of the granules during low-temperature drying. The crystalline base of magnesium hydroxychlorides contributes to the formation of a strong structure of granular magnesia materials.

Conflicts of interest. the corresponding author states that there is no conflict of interest.

Acknowledgment. The research is funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP08856219).

Cite this article as: Miryuk O.A. Granular magnesia compositions. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Pidalanu.* 2021. №1 (316), pp. 32-39. <https://doi.org/10.31643/2021/6445.04>

Түйіршіктелген магнезиалды композициялар

Мирюк О.А.

Рудный индустриялық институты, Рудный, Қазақстан

** Corresponding author email: psm58@mail.ru*

Мақала келді: 29 қаңтар 2021
Рецензенттен өтті: 09 ақпан 2021
Қабылданды: 23 ақпан 2021

ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада магнезия композицияларынан алынатын түйіршікті материалдарды зерттеу нәтижелері келтірілген. Композицияларды алу үшін әр түрлі толтырғыштар қолданылды: ағаш үгінділері, бидай қауызы, резеңке және тығын қоқымдары, күлді микросфералар. Тегістеу арқылы түйіршіктер алуды қамтамасыз ететін қалыптастырушы қоспаларының дайындау әдістері анықталды. Технологиялық процестің әртүрлі кезеңдерінде түйіршіктердің беріктігіне әсер ететін факторлар анықталды. Әр түрлі толтырғыштарды біріктіру, газ түзгішті енгізу арқылы магнезиалды түйіршіктелген материалдардың тығыздығын азайту әдістері ұсынылды. Каустикалық магнезитті қолдану түйіршіктерде толтырғыш бөлшектердің сенімді байланысуын қамтамасыз етеді. Магнезия байланыстырғыштарының гидрат түзу ерекшеліктері өңделмеген түйіршіктерді төмен температурада өңдеуге мүмкіндік береді. Кеуекті түйіршіктердің қатаюын тездету үшін тұзды еріткіштің температурасын жоғарылатудың пайдалылығы көрсетілген. Сусымалы тығыздығы 400 – 500 кг/м³ магнезиалды түйіршіктер алынды. Бұл жұмыс жеңіл бетон үшін қажетті күйдірілмеген түйіршікті толтырғыштардың ресурс үнемдеу технологиясын жасауға бағытталған.

Түйін сөздер: Каустикалық магнезит, толтырғыш, композиция, түйіршіктер, кеуекті құрылым.

Мирюк Ольга Александровна

Автор туралы ақпарат:

техника ғылымдарының докторы, профессор. Құрылыс және құрылыстық материал тану кафедрасының меңгерушісі, Рудный индустриялық институты, Рудный, Қазақстан. ORCID ID: 0000-0001-6892-2763. Email: psm58@mail.ru

Гранулированные магнезиальные композиции

Мирюк О.А.

Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан

Электронная почта автора: psm58@mail.ru

Статья поступила: 29 января 2021
Рецензирование: 09 февраля 2021
Принята в печать: 23 февраля 2021

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты исследований гранулированных материалов из магнезиальных композиций. Для получения композиций использованы наполнители различного происхождения: древесные опилки, пшеничная шелуха, резиновая и пробковая крошка, зольная микросфера. Определены рецептуры формовочных смесей, обеспечивающие получение гранул методом окатывания. Выявлены факторы влияния на прочность гранул на различных этапах технологического процесса. Предложены способы снижения плотности магнезиальных гранулированных материалов за счет сочетания наполнителей различного вида, введения газообразователя. Использование каустического магнезита обеспечивает надежное скрепление частиц наполнителя в гранулах. Особенности гидратообразования магнезиальных вяжущих позволяют использовать низкотемпературную обработку сырцовых гранул. Показана целесообразность повышения температуры солевого затворителя для ускорения твердения поризованных гранул. Получены магнезиальные гранулы с насыпной плотностью 400 – 500 кг/м³. Работа направлена на создание ресурсосберегающей технологии безобжиговых гранулированных заполнителей для легкого бетона.

Ключевые слова: Каустический магнезит, наполнитель, композиция, гранулы, пористая структура.

Мирюк Ольга Александровна

Информация об авторе:

доктор технических наук, профессор. Заведующая кафедрой строительства и строительного материаловедения, Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан. ORCID ID: 0000-0001-6892-2763. Email: psm58@mail.ru

Литература

- [1] Naveen Kumar K., Vijayan D.S., Divahar R., Abirami R., Nivetha C. An experimental investigation on light-weight concrete blocks using vermiculite // *Materials Today: Proceedings*. – 2020. – V. 22. – N 3. – P. 987 – 991. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.237>
- [2] Zhou J., Ji L., Gong C., Lu L., Cheng X. Ceramsite vegetated concrete with water and fertilizer conservation and light weight: Effect of w/c and fertilizer on basic physical performances of concrete and physiological characteristics of festuca arundinacea // *Construction and Building Materials*. – 2020. – V. 236. – N 10. – 117785. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117785>
- [3] Kocianova M., Drochytka R. Possibilities of Lightweight High Strength Concrete Production from Sintered Fly Ash Aggregate // *Procedia Engineering*. – 2017. –V. 195. –P. 9 – 16. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.517>
- [4] Давидюк А.Н. Легкие бетоны на стеклогранулятах – будущее ограждающих конструкций // *Технологии бетонов*. – 2015. –№ 9 – 10. – С. 17 – 20.
- [5] Mizuriaeov S.A., Zhigulina A.Yu., Solopova G.S. Production technology of waterproof porous aggregates based on alkali silicate and non-bloating clay for concrete of general usage // *Procedia Engineering*. – 2015. –V. 111. – P. 540 – 544. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.038>
- [6] Смолий В.А., Яценко Е.А., Косарев А.С., Гольцман Б.М. Разработка составов и технологических параметров синтеза ячеистых теплоизоляционных строительных стекломатериалов с заданной плотностью // *Стекло и керамика*. – 2016. – № 6. – С. 22 – 25.
- [7] Бакунов В.С., Кочетков В. А., Надденный А.В. Многофункциональный керамический строительный материал керпен // *Строительные материалы*. –2004. – № 11. – С. 10 – 11.
- [8] Иноземцев А.С., Королев Е.В. Сравнительный анализ влияния наномодифицирования и микродисперсного армирования на процесс и параметры разрушения высокопрочных легких бетонов // *Строительные материалы*. – 2017. – № 7. – С. 11 – 15.
- [9] Karamloo M., Mazloom M., Payganeh G. Effects of maximum aggregate size on fracture behaviors of self-compacting lightweight concrete // *Construction and Building Materials*. – 2016. –V. 123. – N 1. – P. 508 – 515. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.061>
- [10] Hou L., Li J., Lu Z., Niu Y., T. Li Effect of nanoparticles on foaming agent and the foamed concrete // *Construction and Building Materials*. –2019. –V. 227. – N 10. – 116698. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116698>
- [11] Montayev S.A., Shakeshev B.T., Ryskaliyev M.Z., Adilova N. B., Narikov K.A. Collagen agent technology for foam concrete production // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. –2017. –N 5. – P. 1674 –1678.
- [12] Адилходжаев А.И., Игамбердиев Б.Г. Волокнистый наполнитель из рисовой соломы и его взаимодействие с модифицированной гипсовой матрицей // *Проблемы современной науки и образования*. – 2020. – № 6(2). – С. 5 –10. <https://doi.org/10.24411/2304-2338-2020-10605>
- [13] Costa H., Ju'lio E., Lourenço J. New approach for shrinkage prediction of high-strength lightweight aggregate concrete // *Construction and Building Materials*. –2012. –V. 35. –P. 84 – 91. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.052>
- [14] Vakhshouri B., Nejadi S. Mix design of light-weight self-compacting concrete // *Case Studies in Construction Materials*. – 2016. – V. 4. – P. 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2015.10.002>
- [15] Орендлихер Л.П., Соболева Г.Н. Безобжиговый композиционный пористый наполнитель из влажных асбестоцементных отходов и легкие бетоны на его основе // *Строительные материалы*. – 2000. – № 7. – С. 18 – 19.
- [16] Kevern J.T., Nowasell Q.C., Internal curing of pervious concrete using lightweight aggregates // *Construction and Building Materials*. –2018. – V. 161. – P. 229 – 235. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.055> 0950-0618
- [17] Пименов Е.Г., Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Денисов А.С. Физико-химические исследования процессов снижения открытой пористости крупного наполнителя бетонов *Известия вузов. Строительство*. – 2016. –№ 10 –11. – С. 22– 31.
- [18] Xiangming Z., Zongjin L. Light-weight wood-magnesium oxychloride cement composite building products made by extrusion // *Construction and Building Materials*. 2012. – V. 27. – P. 382 – 389. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.033>
- [19] Miryuk O.A. Properties of magnesium composite materials based on technogenic raw materials // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2018. – V. 13. – N 2. – P. 545 – 558.
- [20] Miryuk O.A. Activation of cement clinker with high content of belite // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a (Complex Use of Mineral Resources)*. – 2020. – № 2 (313). p.38-45. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.15>
- [21] Kumar S., Sonat C., Yang E.-H., Unluer C. Performance of reactive magnesia cement formulations containing fly ash and ground granulated blast-furnace slag // *Construction and Building Materials*. 2020. – V. 232. N 117275. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117275>

Reference

- [1] Naveen Kumar K., Vijayan D.S., Divahar R., Abirami R., Nivetha C. An experimental investigation on light-weight concrete blocks using vermiculite. *Materials Today: Proceedings*. 2020. 22. (3), 987 – 991. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.237> (in Eng.).
- [2] Zhou J., Ji L., Gong C., Lu L., Cheng X. Ceramsite vegetated concrete with water and fertilizer conservation and light weight: Effect of w/c and fertilizer on basic physical performances of concrete and physiological characteristics of festuca arundinacea. *Construction and Building Materials*. 2020. 236. (10), 117785. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117785> (in Eng.).

- [3] Kocianova M., Drochytka R. Possibilities of Lightweight High Strength Concrete Production from Sintered Fly Ash Aggregate. *Procedia Engineering*. 2017. 195, 9 – 16. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.517> (in Eng.).
- [4] Davidiyuk A.N. *Legkiye betony na steklogranulyatakh – budushcheye ograzhdayushchikh* (Lightweight concrete on glass granulates – the future of enclosing structures). *Tekhnologii betonov = Concrete technologies*. 2015. 9 – 10, 17 – 20 (in Russ).
- [5] Mizuriaev S.A., Zhigulina A.Yu., Solopova G.S. Production technology of waterproof porous aggregates based on alkali silicate and non-bloating clay for concrete of general usage. *Procedia Engineering*. 2015. 111, 540 – 544. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.038> (in Eng.).
- [6] Smoliy V. A., Yatsenko E. A., Kosarev A. S., Goltsman B. M. *Razrabotka sostavov i tekhnologicheskikh parametrov sinteza yacheistyykh teploizolyatsionnykh stroitelnykh steklomaterialov s zadannoy plotnostyu* (Development of compositions and technological parameters for the synthesis of cellular heat-insulating building glass materials with a given density). *Steklo i keramika = Glass and ceramics*. 2016. 6, 22 – 25 (in Russ).
- [7] Bakunov B.C., Kochetkov V.A., Naddennyi A.B. *Mnogofunktsionalnyy keramicheskyy stroitelnyy material kerpen* (Multifunctional ceramic building material kerpen). *Stroitelnyye materialy = Construction materials*. 2004. 11, 10 – 11 (in Russ).
- [8] Inozemtsev A.S., Korolev E.V. *Sravnitelnyy analiz vliyaniya nanomodifitsirovaniya i mikrodispersnogo armirovaniya na protsess i parametry razrusheniya vysokoprochnykh legkikh betonov* (Comparative analysis of the effect of nanomodification and microdisperse reinforcement on the process and parameters of destruction of high-strength lightweight concrete). *Stroitelnyye materialy = Construction materials*. 2017. 7, 11 – 15 (in Russ).
- [9] Karamloo M., Mazloom M., Payganeh G. Effects of maximum aggregate size on fracture behaviors of self-compacting lightweight concrete. *Construction and Building Materials*. 2016. 123 (1), 508 – 515. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.061> (in Eng.).
- [10] Hou L., Li J., Lu Z., Niu Y., T. Li Effect of nanoparticles on foaming agent and the foamed concrete. *Construction and Building Materials*. 2019. 227 (10), 116698. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.116698> (in Eng.).
- [11] Montayev S.A., Shakeshev B.T., Ryskaliyev M.Z., Adilova N. B., Narikov K.A. Collagen agent technology for foam concrete production. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. 5, 1674 – 1678 (in Eng.).
- [12] Adilkhodzhayev A.I., Igamberdiyev B.G. *Voloknistyy zapolnitel iz risovoy solomy i ego vzaimodeystviye s modifitsirovannoy gipsovoy matritsey* (Fibrous filler from rice straw and its interaction with a modified gypsum matrix). *Problemy sovremennoy nauki i obrazovaniya = Problems of modern science and education*. 2020. 6 (2), 5 – 10. <https://doi.org/10.24411/2304-2338-2020-10605> (in Russ).
- [13] Costa H., Ju'lio E., Lourenço J. New approach for shrinkage prediction of high-strength lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*. 2012. 35, 84 – 91. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.02.052> (in Eng.).
- [14] Vakhshouri B., Nejadi S. Mix design of light-weight self-compacting concrete. *Case Studies in Construction Materials*. 2016. 4, 1 – 14. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2015.10.002> (in Eng.).
- [15] Orentlikher L.P., Soboleva G.N. *Bezobzhigovyy kompozitsionnyy poristyy zapolnitel iz vlazhnykh asbestotsementnykh otkhodov i legkiye betony na ego osnove* (Non-firing composite porous aggregate from wet asbestos-cement waste and light concretes based on it). *Stroitelnyye materialy = Construction materials*. 2000. 7, 18 – 19 (in Russ).
- [16] Kevern J.T., Nowasell Q.C., Internal curing of pervious concrete using lightweight aggregates. *Construction and Building Materials*. 2018. 161, 229 – 235. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.055> 0950-0618 (in Eng.).
- [17] Pimenov E.G., Pichugin A.P., Khritankov V.F., Denisov A.S. *Fiziko-khimicheskiye issledovaniya protsessov snizheniya otkrytoy poristosti krupnogo zapolnitelya betonov* (Physico-chemical studies of the processes of reducing the open porosity of a large concrete aggregate). *Izvestiya vuzov. Stroitelstvo = News of universities. Construction*. 2016. 10 – 11, 22 – 31 (in Russ).
- [18] Xiangming Z., Zongjin L. Light-weight wood-magnesium oxychloride cement composite building products made by extrusion. *Construction and Building Materials*. 2012. 27, 382 – 389. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.033> (in Eng.).
- [19] Miryuk O.A. Properties of magnesium composite materials based on technogenic raw materials. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. 13 (2), 545 – 558 (in Eng.).
- [20] Miryuk O.A. Activation of cement clinker with high content of belite // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a (Complex Use of Mineral Resources)*. – 2020. – № 2 (313). p.38-45. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.15> (in Eng.).
- [21] Kumar S., Sonat C., Yang E.-H., Unluer C. Performance of reactive magnesia cement formulations containing fly ash and ground granulated blast-furnace slag. *Construction and Building Materials*. 2020. 232, 117275. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117275> (in Eng.).



UDC 622.7

DOI: 10.31643/2021/6445.05



IRSTI 52.13.04

Technological improvement of the scheme unit reception and distribution of solution under conditions of high-pressure nature of groundwater

¹ Aliev S. B., ^{2*} Omarbekov Ye.U.

¹ IPKON, Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

* Corresponding author email: 13s_yernur88@mail.ru; y.omarbekov@stud.satbayev.university

ABSTRACT

This paper analyses the experience uranium deposits mine development under conditions of highpressure nature of groundwater proposed technology "pumping wells" and upgrading technological scheme unit receiving and distribution of the solution. The results of experimental study of the use of "pumping wells" in mining deposits of uranium by in-situ leaching mine "Karatau". It is proved that by using the proposed technology and circuits under conditions of the high groundwater pressure reduces the cost of procurement of cables, significantly reduced the cost of acquisition of submersible pumps, savings in the end cap. In practice, one processing unit is equipped with one unit for receiving and distributing the solution, therefore, a leaching solution with the same acidity is supplied to all injection wells. To avoid such cases requires selective supply of different concentrations of acid with the different indicators pH. The modernization of the scheme of the unit for receiving and distributing the solution was carried out by connecting two bypass lines, where one bypass line is designed to transfer the injection wells to the pumping one, and the second one is to transfer the pumping wells to the pumping one. By connecting the two bypass lines, it will be possible to supply a leach solution with a higher acid concentration, selectively to any injection well. As a result, acid consumption will decrease due to its selective supply and pH values in wells will be balanced.

Keywords: In-situ leaching, high-pressure character, «pumping wells», pH factor.

Information about authors:

- Doctor of Technical Sciences, Professor, Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-3699-8322>, Email: alsamat@gmail.com

- PhD student of Satbayev University, Almaty, Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0003-1317-1303>, Email: 13s_yernur88@mail.ru; y.omarbekov@stud.satbayev.university

Received: 30 January 2021
Peer reviewed: 15 February 2021
Accepted: 24 February 2021

Aliev Samat Bikitaevich

Omarbekov Yernur Urazgalievich

Introduction

According to the IAEA about 19% of the world's known uranium reserves are concentrated in the Republic of Kazakhstan. The total reserves and resources are estimated at 1,610 thousand tons of uranium, including the reserves of industrial categories (B + C1 + C2) amount to 920 thousand tons [1].

A unique feature of uranium deposits in the Republic of Kazakhstan is that 75% of them are concentrated in rocks associated with regional zones of formation oxidation. This type of deposits is not widespread in the world. It is developed by

the most advanced, relatively cheap, and environmentally preferable method of in situ leaching (ISL). In situ leaching (ISL), also known as solution mining involves leaving the ore where it is in the ground and recovering the minerals from it by dissolving them and pumping the pregnant solution to the surface where the minerals can be recovered. Consequently, the soil cover is almost not disturbed, no tailings and waste rock are formed.

One of the stages of development of reserves in the operational unit is a technological step, which includes three stages.

- Ore deposit acidification - supply of working solutions to the ore-bearing horizon in order to change its state and ensure the conditions for the transition of uranium into solution.

- Active leaching - formation and extraction of productive solutions from the block.

- Modification of operating units (additional leaching, "washing" of uranium) is the final stage of uranium mining, which is characterized, as a rule, by a decrease in the uranium content in productive solutions [2].

When mining blocks at the stage of active leaching, the hydrodynamic equilibrium (balance) of the injected and pumped-out solutions must be strictly observed, both for individual production cells, as well as for blocks and areas [3]. In this case, as a rule, provided optimal solutions hydrodynamic filtering mode in block circuit. In the development of deposits in the conditions of high-pressure nature of groundwater, ensuring optimum hydrodynamic filtering mode solutions unit circuit is very difficult. With an imbalance towards pumping (negative balance, pumping exceeds pumping), productive solutions dilute due to the pulling up of formation water due to the block contour. The imbalance in the direction of pumping (the positive balance exceeds injection pumping) leads to the exit of process solutions beyond ore deposits. Thus, there is a uranium loss due to the spreading and re-sedimentation, increased consumption of leaching reagents. It should also be noted that the unbalance solutions in operational blocks may occur overflow of process solutions between adjacent blocks. This significantly complicates, and often makes it impossible to account for uranium production by block (calculation of the movement of reserves) [4].

Hydrodynamic equilibrium (balance) for individual production cells, blocks and sections is established because of data from measurements of production rates of pumping wells and injectivity of injection wells. As a result of mudding, the flow rates and injectivity of wells can vary significantly [5]. Therefore, timely measurements and repair and restoration work is very important to ensure the balance of injected and pumped out solutions. In connection with the above, the studies carried out in this work are quite relevant.

As is known, the main factors when using the method of in-situ leaching are projection of the ore deposit to the surface that determines the location of the wells and infrastructure, the specified productivity of the processing complex and the number of pumping and injection wells. Thus,

binding process begins with arrangement of wells in the upper portion of the exhaust well submersible pump, which is the cause of the borehole drilling large diameter "plant around" the larger diameter pipes to equip the upper end of the well head part correspondingly more expensive. In addition, electric cables are laid to the location of the technological unit and each well from the transformer substation and from the distribution units of solutions. All of these additional costs is inevitable because of pumped well location identified the morphology of the ore body and the need to define solutions underground vector of their movement with the use of a submersible pump [6,7].

Experimental part and discussion of results

The experimental unit is located in the section №2. The area of the block is 40,500 square meters, the ore is represented by hard rocks, the thickness of the aquifer is 8-12 m, the depth is 670 m. The experimental block has 30 injection wells, 14 extraction wells, the distance between the injection and extraction wells is 30 meters. An in-line autopsy scheme was adopted. Drilling is carried out with the drilling machine BFU-1200m (mobile drilling unit). Extraction wells are constructed in the injection format, as shown in Figure 1, cased with 89 mm PVC (poly vinyl chloride) pipe, filter - KDF 118. To carry out experimental work, an improved scheme for connecting technological wells was proposed (Figure 1), the essence of which is the extraction of pumping wells in the injection format; near the transformer substations with a depth of 50-100 meters, "pumping wells" are being built, equipped with a blind filterless column, in which submersible pumps are located. The total power of the pumps is equal to - optimal with a traditional piping scheme [8].

Pumping wells connected to the extract hose and constitute a system of communicating vessels. Apparently, a necessary condition in this case should be - a positive head of groundwater above the surface and the location of the pump below the dynamic level. The minimum number of such "pumping wells" is one per processing unit [9].

In this case, the flow rate in the extraction wells is regulated by means of shut-off equipment. The use of "pumping wells", along with a direct economic effect, makes it possible to use any combination of injection wells in the functions of pumping wells at different stages of block development.

In the new technical solution, adding "pumping wells" to the piping, we create conditions that do not require a pump and infrastructure for it to be located at the desired point of the block; the necessary vector of formation water movement at such a point is created remotely, using "pumping wells". This radically optimizes the operation of the system (at any time, you can use any wells in any ratio, both pumping and injecting ones, constructing them in a pumping-only format), reducing the cost of underground leaching and reducing uranium losses by developing "stagnant" zones.

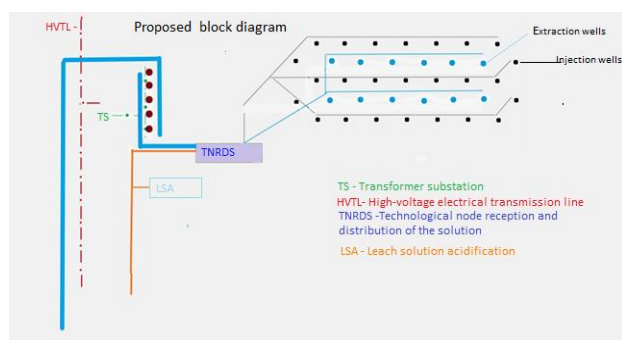


Figure 1 - Experimental scheme of binding the unit

To implement the proposed technology, it is necessary to modernize the scheme of the solution receiving and distribution unit (Figure 2). The main goal of the modernization of the scheme is to supply the leach solution to the wells with different acid concentrations, to minimize the difference in pH values in the wells, as well as other parameters for compiling the leach balance. The pH index is of particular importance in the extraction of uranium by the in situ leaching method [10]. For effective leaching, we need to achieve a pH in the range of 1.5 - 2, where natural uranium dissolves much better in this environment, but it is not always possible to achieve a simultaneous or gradual decrease in pH in all wells. One of the reasons is the close location of previously operated and new technological blocks, namely, wells that are in close proximity to the wells of old blocks have a lower pH value than wells located far from the already acidified technological block.

In practice, one processing unit is equipped with one unit for receiving and distributing the solution, therefore, a leaching solution with the same acidity is supplied to all wells. To avoid such cases, selective feeding with different acid concentrations is required considering different pH values. By making small changes to the scheme of the unit for

receiving and distributing the solution, it is possible to supply the leaching solution with different acidities.

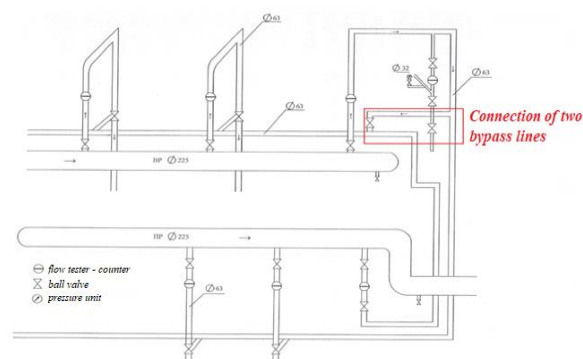


Figure 2 - Proposed scheme unit reception and distribution of solution

The modernization of the scheme of the unit for receiving and distributing the solution was carried out by connecting two bypass lines, where one bypass line is designed to transfer the injection wells to the extraction one, and the second one is to transfer the extraction wells to the injection one. By connecting the two bypass lines, it will be possible to supply a leach solution with a higher acid concentration, selectively to any injection well. This can be avoided above problems. As a result of the application of the proposed well piping scheme, the costs of purchasing cable products are reduced many times, the costs of purchasing submersible pumps are significantly reduced (the cost of a more powerful pump is much less than the cost of several of the same power), and funds are saved on the end caps. Modernization of the scheme of the unit for receiving and distributing the solution will allow to reduce the consumption of acid due to its selective supply and balance the pH values in the wells.

Conclusions

In the new technical solution - adding "pumping wells" to the piping, we get a system of communicating vessels, which does not require a pump and infrastructure for it to be located at the desired point of the block; the necessary vector of formation water movement at such a point is created remotely, using pumping wells. This radically, ultimately optimizes the operation of the system (at any time you can use any wells in any

ratio, both extracting and injecting ones), thereby working out stagnant zones in the area of blocks and increasing the percentage of block development - without additional costs for drilling wells and building the necessary infrastructure. Technically, these possibilities are realized using a "bypass" piping line directly in the building of the receiving and distribution unit.

The investment effect from the introduction of the new technical solution in the process of underground borehole leaching of uranium, allows

to achieve cost savings for the implementation of mining and preparatory work (piping of wells of technological blocks).

Conflicts of interest. On behalf of all authors, the corresponding author states that there is no conflict of interest.

Acknowledgements. The authors of the paper are grateful to corresponding member of NAS RK, doctor of technical sciences, professor Yussupov Kh. A, for rendering a valuable advice and guidance in the preparation of this article.

Cite this article as: Aliev S. B., Omarbekov Ye.U. Technological improvement of the scheme unit reception and distribution of solution under conditions of high-pressure nature of groundwater. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu.* 2021. №1(316), pp. 40-45.
<https://doi.org/10.31643/2021/6445.05>

Жер асты суларының жоғары қысымды сипаттағы жағдайында ерітіндіні қабылдау және тарату қондырғысының сызбасын (схемасын) жаңарту

¹ Алиев С.Б., ^{2*} Омарбеков Е.У.

¹ Н. В. Мельникова атындағы жер қойнауын кешенді игеру проблемалары институты, Ресей ғылым академиясы, Мәскеу, Ресей

² Сәтбаев Университеті, Алматы, Қазақстан

* Автордың электрондық поштасы: 13s_yernur88@mail.ru; y.omarbekov@stud.satbayev.university

Мақала келді: 30 қаңтар 2021
Рецензенттен өтті: 15 ақпан 2021
Қабылданды: 24 ақпан 2021

ТҮЙІНДЕМЕ

Бұл жұмыста жер асты суларының жоғары қысымды сипаттағы жағдайында уран кен орындарын игеру тәжірибесі талданған, «сорғы ұңғымалары» технологиясы және ерітіндіні қабылдау және тарату қондырғысын жаңарту (модернизациялау) сызбасы ұсынылған. «Қаратау» кенішінде ұңғымаларды жерасты шаймалау әдісімен уран кен орындарын игеру кезінде «сорғы ұңғымаларын» қолдануды эксперименттік зерттеу нәтижелері келтірілген. Ұсынылған технология мен сызбаны жер асты суларының жоғары қысымды сипаттағы жағдайында қолданған кезде кабель өнімдерін сатып алуға кететін шығындар азаятындығы, су асты сорғыларын сатып алуға кететін шығындар едәуір азаятындығы және ұңғыма басына жұмсалатын қаражат үнемделетіндігі дәлелденді. Тәжірибеде бір технологиялық блокта бір ғана қабылдау және тарату қондырғысы болады, сондықтан барлық айдау ұңғымаларына шаймалау ерітіндісі бірдей қышқылдықта беріледі. Осындай жағдайларды болдырмау үшін іріктеп қышқылды әр түрлі концентрациялармен рН көрсеткішіне байланысты беру қажет. Қабылдау және тарату қондырғысының жаңартылған сызбасы екі байпасты линияларды бір-біріне жалғау арқылы іске асты, ондағы бір байпас линиясы айдау ұңғымаларын сорғыш ұңғымаларына ауыстыру үшін, ал екіншісі сорғыш ұңғымаларын айдау ұңғымаларына ауыстыруға арналған. Екі байпас линияларын қосу арқылы шаймалаушы ерітіндіні жоғары концентрацияланған қышқылмен кез келген айдау ұңғымасына іріктемелі түрде жіберуге болады. Нәтижесінде қышқылдың шығыны азаяды және рН көрсеткіші барлық сорғыш ұңғымаларында теңгеріледі.

Түйін сөздер: жерасты шаймалау, жоғары қысымды сипат, «сорғы ұңғымалары», рН көрсеткіші.

Авторлар туралы ақпарат:

- Техника ғылымдарының докторы, Н.В. Мельникова атындағы жер қойнауын кешенді игеру проблемалары институты, Ресей ғылым академиясы, Мәскеу, Ресей; <https://orcid.org/0000-0002-3699-8322>, Email: alsamat@gmail.com

- Satbayev University PhD докторанты, Алматы, Қазақстан; <https://orcid.org/0000-0003-1317-1303>, Email: 13s_yernur88@mail.ru; y.omarbekov@stud.satbayev.university

Алиев Самат Бикитаевич

Омарбеков Ернур Уразғалиевич

Модернизация схемы узла приема и распределения раствора в условиях высоконапорного характера подземных вод

¹ Алиев С.Б., ^{2*} Омарбеков Е.У.

¹ Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова Российской академии наук ИПКОН РАН, Москва, Россия

²Satbayev University, Алматы, Казахстан

* Электронная почта автора: 13s_yernur88@mail.ru; y.omarbekov@stud.satbayev.university

АННОТАЦИЯ

В данной работе проанализирован опыт разработки уранового месторождения в условиях высоконапорного характера подземных вод, предложены технология «насосных скважин» и схема модернизации узла приема и распределения раствора. Приведены результаты экспериментальных исследований применения «насосных скважин» при отработке месторождений урана методом подземного скважинного выщелачивания на руднике «Каратау». Доказано, что при использовании предлагаемой технологии и схемы в условиях высоконапорного характера подземных вод уменьшаются затраты на закупку кабельной продукции, существенно уменьшаются затраты на приобретение погружных насосов, экономятся средства на оголовниках. На практике на один технологический блок установлен один узел приема и распределения раствора, поэтому на все закачные скважины подается выщелачивающий раствор с одной и той же кислотностью. Во избежание таких случаев, требуется выборочная подача с разными концентрациями кислоты с учетом разных показателей pH. Модернизация схемы узла приема и распределения раствора была осуществлена за счет соединения двух байпасных линий, где одна байпасная линия предназначена для перевода закачных скважин в откачную, а вторая – для перевода откачных скважин в закачную. Соединяя две байпасные линии, можно будет подавать выщелачивающий раствор с более высокой концентрацией кислоты, выборочно на любую закачную скважину. В результате снизится расход кислоты за счет выборочной ее подачи и сбалансируются pH показатели в скважинах.

Ключевые слова: Подземно-скважинное выщелачивание, высоконапорный характер, «насосные скважины», показатель pH.

Статья поступила: 30 января 2020

Рецензирование: 15 февраля 2021

Принята в печать: 24 февраля 2021

Информация об авторах:

- Доктор технических наук, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.Мельникова, Российской академии наук, Москва, Россия;
<https://orcid.org/0000-0002-3699-8322>, Email: alsamat@gmail.com

- PhD докторант Satbayev University, Алматы, Казахстан; <https://orcid.org/0000-0003-1317-1303>, Email: 13s_yernur88@mail.ru; y.omarbekov@stud.satbayev.university

Алиев Самат Бикитаевич

Омарбеков Ернур Уразгалиевич

Литература

- [1] Суходолов А.П. Мировые запасы урана: перспективы сырьевого обеспечения атомной энергетики. // Известия Иркутской государственной экономической академии. 2010. № 4(72) С.166-169
- [2] Boytsov A. Worldwide ISL Uranium Mining Outlook: presentation//Proceedings of the International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014), 23-27 June 2014.-Vienna: IAEA, 2014. P.1-23
- [3] Носков М.Д. Добыча урана методом скважинного подземного выщелачивания, Учебное пособие Северск 2010
- [4] Kenzhaliyev, B. K., Surkova, T. Y., & Yessimova, D. M. (2019). Concentration of rare-earth elements by sorption from sulphate solutions. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo syr'â/Complex Use of Mineral Resources/Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*, 3(310), 5–9. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.22>
- [5] Юсупов Х. А., Алиев С.Б., Джакупов Д.А., Ельжанов Е.А. Исследование применения бифторида аммония для химической обработки скважин. Горный журнал, Москва (Россия), №4, 2017, с.57-60. DOI 10/17580/gzh.2017.04.11
- [6] Алиев С.Б., Захаров В.Н., Кенжин Б.М., Смирнов Ю.М. Адаптивный метод вибрационно-сейсмического воздействия на повышение эффективности подземного выщелачивания металлов// «Уголь», № 2, 2019 г. С. 76-80. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-2-76-80.
- [7] Manual of acid in situ leach uranium mining technology. - IAEA, Vienna, 2001, IAEA-TECDOC-1239, ISSN 1011-4289, © IAEA, 2001 // Printed by the IAEA in Austria, August 2001
- [8] Omarbekov Ye., Yusupov Kh. Improving the technology of uranium mining under the conditions of high groundwater pressure. *Mining of Mineral Deposits*, 14(3), 112-118, 2020

- [9] Юсупов Х. А., Омарбеков Е. У. Влияние технологии «насосных скважин» на дебит откачных скважин // Комплексное использование минерального сырья. -2020. -№2 (313). -С.14-18. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.12>
- [10] Omarbekov Ye.U. Application of leaching technology at the uranium deposits sites with significant static levels of underground water. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference (April 1–3, 2020, Ivanofrankivsk), In Two Volumes, Volume 2.

Reference

- [1] Sukhodolov A.P. Mirovyye zapasy urana: Perspektivy syryevogo obespecheniya atomnoy energetiki (World Uranium Reserves: Prospects for nuclear power raw materials). Izvestiya IGEA = Proceedings of the ISEA. **2010**. 4(72), 166-169 (in Russ.).
- [2] Boytsov A. Worldwide ISL Uranium Mining Outlook: presentation//Proceedings of the International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014), 23-27 June 2014.-Vienna: IAEA, 2014. P.1-23
- [3] Noskov M.D. Dobycha urana metodom skvazhinnogo podzemnogo vyshelacivnya, Uchebnoe posobie Sebersk 2010
- [4] Kenzhaliyev, B. K., Surkova, T. Y., & Yessimova, D. M. (2019). Concentration of rare-earth elements by sorption from sulphate solutions. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo syr'â/Complex Use of Mineral Resources/Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*, 3(310), 5–9. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.22>
- [5] Yusupov Kh.A., Aliyev S.B., Djakupov D.A., Yelzhanov Ye. A. Issledovanie primeneniya biftorida ammoniya dlya khimicheskoy obrabotki skvazhin. *Gorniy journal, Moskva (Rossiya)*, №4, 2017, p. 57-60. DOI 10/17580/gzh.2017.04.11
- [6] Aliyev S.B., Zakharov B.N., Kenjin B.M., Smirnov Yu.M. Adaptivniy metod vibratsionno-seizmicheskogo vozdeistviya na povsheniye effektivnosti podzemnogo vychelashivaniya metallov// «Ugol», №2, 2019 g. p. 76-80. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-2-76-80.
- [7] Manual of acid in situ leach uranium mining technology. - IAEA, Vienna, 2001, IAEA-TECDOC-1239, ISSN 1011–4289, © IAEA, 2001 // Printed by the IAEA in Austria, August 2001
- [8] Omarbekov Ye., Yusupov Kh. Improving the technology of uranium mining under the conditions of high groundwater pressure. *Mining of Mineral Deposits*, 14(3), 112-118, 2020
- [9] Yusupov Kh. A., Omarbekov E. U. Vliyaniye tekhnologii «nasosnykh skvazhin» na debit otkachnykh skvazhin [The effect of «pumping wells» procedure on the flow rate of extraction wells] // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'â = Complex Use of Mineral Resources*. - 2020. - No. 2 (313). - S. 14-18. (In Russian). <https://doi.org/10.31643/2020/6445.12>
- [10] Omarbekov Ye.U. Application of leaching technology at the uranium deposits sites with significant static levels of underground water. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference (April 1–3, 2020, Ivanofrankivsk), In Two Volumes, Volume 2.



UDC 621.771

DOI: 10.31643/2021/6445.06



IRSTI 53.43.31

Radial-shear rolling as a new technological solution for recycling bar scrap of ferrous metals

^{1*} Lezhnev S. N., ¹ Naizabekov A. B., ¹ Volokitina I. E., ¹ Panin E. A., ² Kuldeyev E. I.

¹ Rudny industrial institute, Rudny, Kazakhstan

² Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Benefication, Almaty, Kazakhstan

* Corresponding author email: sergey_legnev@mail.ru

Received: 29 January 2021

Peer-reviewed: 08 February 2021

Accepted: 25 February 2021

ABSTRACT

Waste recycling of both ferrous and non-ferrous metals is a useful process for the economy of any country. This paper proposes a new technology for recycling bar scrap of ferrous metals by rolling it in radial-shear rolling mills by producing a commercial product in the form of bars with an ultrafine-grained gradient structure. Studies have shown that the deformation of bar scrap in the form of pieces of reinforcement made of steel grade 18G2S in a radial-shear rolling mill makes it possible to significantly disperse its structure by producing a gradient ultrafine-grained structure, and this, in turn, leads to the elevating of the mechanical characteristics of this steel grade. Thus, the tensile limit of the 18G2S grade steel deformed on the radial-shear rolling mill was 620 MPa (at the initial value of 365 MPa).

Keywords: recycling, bar scrap of ferrous metals, reinforcement, radial-shear rolling, microstructure, mechanical properties.

Lezhnev Sergey Nikolaevich

Information about authors: Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, NJSC "Rudny Industrial Institute", Professor of the Department. "Metallurgy and mining", +770117725358, sergey_legnev@mail.ru (correspondent author)

Naizabekov Abdрахman Batyrbekovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, NJSC "Rudny Industrial Institute", Rector, info@rii.kz

Volokitina Irina Evgenievna

PhD, NJSC "Rudny Industrial Institute", Associate Professor of the Department. "Metallurgy and Mining", +77012509353, irinka.vav@mail.ru

Panin Evgeniy Alexandrovich

PhD, NJSC "Rudny Industrial Institute", Senior Researcher, +77017754616, cooper802@mail.ru

Kuldeyev Erzhan Itemenovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, "Institute of Metallurgy and Ore Benefication" JSC, Leading Researcher. kuldeev_erzhan@mail.ru

Introduction

The environmental problem has been a hot issue all over the world for more than a decade. Conventional waste disposal does not always solve this problem, since in many cases it also leads to significant environmental pollution, for example, in the case of waste disposal in a waste landfill or waste incineration. Therefore, at present, much attention is paid to the development of various methods of waste processing, i.e. recycling, including scrap metal, which is also the most economically profitable.

For example, the "3R Initiative" in waste management, based on three basic "coordinates": Reduce – reduction; Reuse – reuse of waste; Recycle – use as secondary resources were proposed in Japan as far back as 2004 [1].

In the present case, we shall consider the problem of processing and using "iron waste", a special category of waste called scrap metal, as secondary resources.

The sources of the formation of scrap metal can be conditionally divided into three categories: parts or mechanisms, as well as structures that have exhausted their service life; deteriorated metal

products; waste generated during the production and processing of ferrous metals.

As is well known, the final stage of the life cycle of most metal products is most often their disposal in the form of scrap metal, followed by remelting and further recycling.

At the same time, it is difficult to disagree that this is one of the simplest ways to dispose of metal products that have served their service life.

Although there has long been another way of processing some metal products that have served their service life by various methods of hot pressure treatment to obtain a finished commercial product [2-10].

But a qualitatively new level of possibilities for the recycling of scrap metal processing, both in the form of some long metal products, such as rods, axles, shafts that have served their service life, and ordinary bar scrap of ferrous metals, including rebar, opens the radial-shear rolling process (RDR).

Radial-shear rolling is cross rolling of solid rounds mainly on a three-high screw rolling mill with large feed angles and high one-time draftings, the main difference of which is the feed angle increasing to $\alpha = 18^\circ - 20^\circ$ at a conventional rolling angle $\beta = 5^\circ$ [11].

During the radial-shear rolling, the metal extrusion in the deformation zone along programmed trajectories creates the effect of volumetric macro-shear, which makes it possible to pick up the metal efficiently and squeeze throughout the volume. At the same time, the blank is squeezed in two directions and tensiled in one direction corresponding to the rolling progress in the longitudinal direction in the deformation zone during the RDR. In the transverse direction, the blank is rolled in addition to the drafting itself.

As a result, after passing the deformation zone in the rolls, the blank decreases in diameter lengthens, and also twists around its axis by a certain angle, which depends on the magnitude of the torque, blank material, and its geometric parameters. Such deformation conditions are favorable for defect-free rolling of practically any deformable materials.

Radial-shear rolling has currently found application in the recycling of pump rods in conditions of the Ocher Machine-Building Plant [12-14] and has been tested in laboratory conditions in the recycling of used railway axles [15]. We propose to use the radial-shear rolling technology to process common bar scrap of ferrous metals with producing bars with an ultrafine-grained gradient structure.

Experimental Procedure

To confirm the possibility of recycling various bar scrap of ferrous metals, a physical experiment was conducted at the SVP-08 radial-shear rolling mill, which allows deformation of blank with a circular cross-section from a diameter of 40 mm to a diameter of 8 mm. Pieces of reinforcement made of 18G2S steel grade of class A-II (A300) GOST 5781-82 with a diameter of 32 mm and a length of 250 mm were used as initial blanks, which were previously subjected to homogenizing annealing before deformation.

Deformation of the pieces of reinforcement was performed in two stages: 1st stage – rolling out of the reinforcing profile itself to obtain a common cylindrical blank; 2nd stage – rolling of the produced cylindrical blanks for producing ultrafine-grained gradient structure.

At the first stage, pieces of reinforcement with a 32 mm diameter were heated in a Nabertherm R120/1000/13 tube furnace to a temperature of 1100°C with equalizing during 32 minutes before deformation in the SVP-08 radial-shear rolling mill. After that, the deformation of these pieces of reinforcement was performed on the radial-shear rolling mill to a diameter of 28 mm in two passes with a step of absolute reduction in diameter of 2 mm according to the reverse scheme [16].

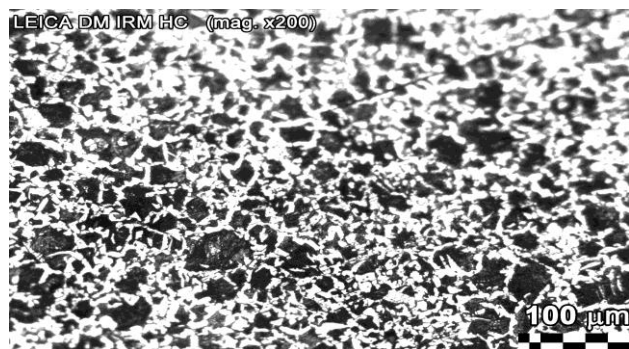
After producing blanks with a 28 mm diameter with a cross-sectional shape close to cylindrical, they were cooled at 700°C in a tube furnace Nabertherm R120/1000/13 to equalize the temperature over the blanks cross-section. At the second stage, the deformation of blanks with 28 mm diameter was also performed with a step of absolute reduction in 2 mm diameter according to a reversible scheme to 16 mm diameter in six passes.

Polished micro specimens for optical microscopy and TEM objects for studying the fine structure as well as standard samples for mechanical tests, were prepared from the initial sample (after homogenizing annealing) and after each pass. The microstructure was studied using an OLIMPUSBX53M optical microscope; the fine structure was studied using a JEM-2100 transmission electron microscope (JEOL, Japan) at an accelerating 200 kV voltage. The microstructure was investigated in the center and at the periphery of the bar section.

Mechanical properties were determined by the tensile strength test of standard cylindrical specimens on an Instron 5966 testing machine. In

this case, three duplicate specimens were taken for tensile strength test for each point of the experiment (after each pass), [17, 18, 19, 20].

Analysis of the microstructure evolution showed that 18G2S grade low-alloy steel has a ferrite-pearlite structure in the initial state (after homogenizing annealing), secondary cementite is located along the grain boundaries (Fig. 1), the average grain size is 25 μm .



Picture 1 – Microstructure of 18G2S steel grade in the initial state (after homogenizing annealing)

Results and Discussion

The analysis of the microstructure after 2 preliminary deformation passes at 1100°C on the SVP-08 radial-shear rolling mill showed the recrystallization in the structure of the deformed 18G2S grade steel.

Since the deformation temperature during rolling was higher than the temperature of the steel allotropic transformation upon heating, cementite decompositions, and ferrite transition to austenite, the steel had an austenite structure upon deformation.

Austenite, on the other hand, is very plastic and mobile at high temperatures; accordingly, during rolling, the grains underwent a very significant deformation, began to stretch and turn in the direction of rolling. Besides, large grains began to disintegrate into small grains. After cooling, the blank has a ferrite-pearlite structure with 17-18 microns grain size.

Analysis of the microstructure after eight deformation passes (2 preliminaries at a deformation start temperature of 1100°C and 6 main ones at a deformation start temperature of 700°C) deformation showed that grain fragmentation was observed as a result of the formation of dislocation walls and the formation of deformation cells in the peripheral part of the 18G2S steel bar.

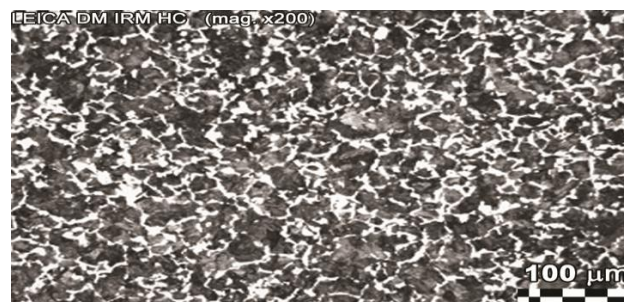


Figure 2 – Microstructure of 18G2S steel grade after 2 preliminary deformation passes at 1100°C

Despite the high dislocation density, a large number of dislocation-free subgrains were also observed (Fig. 3a). Recrystallized regions with a low dislocation density describing themselves as a sign of the development of dynamic recrystallization during deformation were also found in the microstructure.

The detected recrystallized grains are distinguished not only by the absence of dislocations in the grain body but also by the close-to-equilibrium structure of the disorientation boundaries, as evidenced by the weak streaky electron microscopic contrast at these boundaries. The structure of the central zone consisted of long and narrow grains elongated in the rolling direction with a size ranging from 1 to 2 μm (Fig. 3b).

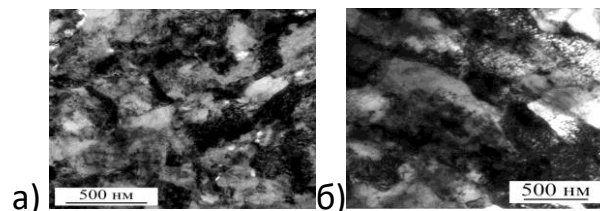


Figure 3 - Microstructure of the peripheral (a) and central (b) parts of the low-alloy 18G2S grade steel bar after 6 passes of the RSP

After analyzing the microstructure evolution, mechanical characteristics of bars made of 18G2S grade steel, produced after 8 passes (2 preliminary and 6 main) of reversible radial-shear rolling was studied. The mechanical characteristics were also determined for the initial non-deformable sample, previously subjected to homogenizing annealing.

The average static value of properties was determined and passes number-strength and plastic properties charts were constructed according to statistically processed results of mechanical tests (Fig. 4).

The results of mechanical tests have shown that the initial (averaged) values of mechanical

properties are: ultimate strength is 365 MPa; relative elongation is 36%.

After all 8 passes in the radial-shear rolling mill, the mechanical properties of 18G2S grade steel change as follows: the strength properties increase, and the plastic ones fall.

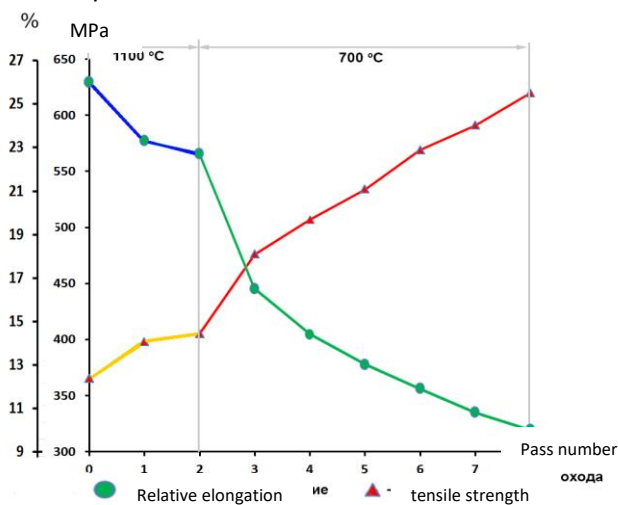


Figure 4 – Passes number-strength and plastic properties chart of 18G2S grade steel

So the value of the ultimate strength (σ_B) after 8 passes increased to 620 MPa, and the relative elongation, which is one of the indicators of the plastic properties of any material, decreased to 10%. At the same time, it can be seen from the charts that these changes do not occur monotonously: after the first pass of deformation, when the temperature of the beginning of deformation of the reinforcing profile was 1100°C, a sharp increase in the strength index and a drop in the value of the relative elongation were observed, while during the second pass these values did not change significantly.

After cooling the blank obtained after 2 passes at a temperature up to 700°C and the subsequent 3rd pass, we again observe the intensive change in the mechanical properties of 18G2S steel (there is a sharp increase in ultimate strength and a significant drop of relative elongation). Later (after a sharp

spike in properties during the implementation of the 3rd pass), a smooth change in the mechanical characteristics of 18G2S steel is observed.

Conclusions

Thus, it may be concluded that deformation in the SVP-08 radial-shear rolling mill makes it possible to disperse significantly the structure of bar scrap, and the degree of structure refinement is the higher, the greater the degree of deformation. Thus, eight passes of deformation made it possible to reduce the average grain cross-sectional size by almost 30 times (from 25 to 0.8 μm) in comparison with the initial state.

The change in the size of the initial grain led to a significant change in the mechanical characteristics of the bars obtained after deformation in the radial-shear rolling mill.

So the tensile strength of 18G2S steel after deformation increased by almost 1.7 times to a value of 620 MPa. The relative elongation, which is one of the indicators of the plasticity of the material, decreased 2.6 times 10%, against the initial 26%. Such a decrease in the plasticity index, in this case, is within the normal range for materials after severe plastic deformation.

Conflicts of interest

On behalf of all authors, the corresponding author states that there is no conflict of interest.

Acknowledgment

This study was funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP08955575).

Cite this article as: Lezhnev S. N., Naizabekov A. B., Volokitina I. E., Panin E. A., Kuldeyev E. I. Radial-shear rolling as a new technological solution for recycling bar scrap of ferrous metals. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. = Complex Use of Mineral Resources = Mineralkik Shikisattardy Keshendi Pidalanu.* 2021. № 1 (316), pp. 46-52. <https://doi.org/10.31643/2021/6445.06>

Қара металдардың шыбық сынықтарын қайта өңдеу бойынша жаңа технологиялық шешім - радиалды-жылжымалы жұқарту (прокаттау) туралы

^{1*} Лежнев С. Н., ¹ Найзабеков А. Б., ¹ Волокитина И. Е., ¹ Панин Е. А., ² Кульдеев Е. И.

¹Рудный индустриалды институты, г. Рудный, Қазақстан

²Satbayev University, Металлургия және кен байыту институты, Алматы, Қазақстан

*Электрондық пошта: sergey_legnev@mail.ru

<p>Мақала келді: 29 қаңтар 2021 Рецензенттен өтті: 08 ақпан 2021 Қабылданды: 25 ақпан 2021</p>	<p>ТҮЙІНДЕМЕ</p> <p>Қара және түсті металдардың қалдықтарын қайта өңдеу кез-келген елдің экономикасы үшін пайдалы үдеріс болып табылады. Бұл жұмыста қара металдардың шыбық сынықтарын радиалды-жылжымалы жұқарту орнақтарында прокаттау арқылы ультра түйіршікті градиент құрылымы бар шыбықтар түрінде тауарлы өнім алынатын қайта өңдеудің жаңа технологиясы ұсынылған. Жүргізілген зерттеулер көрсеткендей, 18Г2С маркалы болаттан жасалған арматураның бөліктері түріндегі шыбықтарды радиалды-жылжымалы жұқарту орнағында деформациялау, градиентті ультра ұсақ түйіршікті құрылымды алуға мүмкіндік береді, бұл өз кезегінде болаттың осы маркасының механикалық сипаттамаларының өсуіне әкеледі. Сонымен, 18Г2С маркалы болатты радиалды жылжымалы орнағында деформациялағанда болаттың беріктік шегі 620 МПа құрады (бастапқы мәні 365 МПа).</p> <p>Түйін сөздер: Қайта өңдеу (рециклинг), қара металдардың шыбық сынықтары, арматура, радиалды-жылжымалы жұқарту, микроқұрылым, механикалық қасиеттері.</p>
<p>Лежнев Сергей Николаевич</p>	<p>Авторлар туралы ақпарат: т.ғ.к., доцент, «Рудный индустриалды институты» КЕАҚ, кафедра ассоциированный профессоры. «Металлургия және тау-кенісі», +770117725358, sergey_legnev@mail.ru (автор-корреспондент)</p>
<p>Найзабеков Абдрахман Батырбекович</p>	<p>Техника ғылымдарының докторы, профессор, «Рудный индустриалды институты» КЕАҚ, ректор, info@gii.kz</p>
<p>Волокитина Ирина Евгеньевна</p>	<p>PhD докторы, «Рудный индустриялық институты» КЕАҚ, кафедраның доценті. «Металлургия және тау-кенісі», +77012509353, irinka.vav@mail.ru</p>
<p>Панин Евгений Александрович</p>	<p>PhD докторы, «Рудный индустриялық институты» КЕАҚ, аға ғылыми қызметкер, +77017754616, cooper802@mail.ru</p>
<p>Кульдеев Ержан Итеменович</p>	<p>т.ғ.к., ассоциированный профессор, Satbayev University, «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, Жетекші зерттеуші. kuldeev_erzhan@mail.ru</p>

О радиально-сдвиговой прокатке как новом технологическом решении по рециклингу пруткового лома черных металлов

^{1*} Лежнев С. Н., ¹ Найзабеков А. Б., ¹ Волокитина И. Е., ¹ Панин Е. А., ² Кульдеев Е. И.

¹ Рудненский индустриальный институт, г. Рудный, Казахстан

² Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан

* Электронная почта автора: sergey_legnev@mail.ru

Статья поступила: 29 января 2021
Рецензирование: 08 февраля 2021
Принята в печать: 25 февраля 2021

АННОТАЦИЯ

Рециклинг отходов, как черных, так и цветных металлов является полезным процессом для экономики любой страны. В данной работе предложена новая технология рециклинга пруткового лома черных металлов путем его прокатки на станах радиально-сдвиговой прокатки с получением товарного продукта в виде прутков с ультрамелкозернистой градиентной структурой. Проведенные исследования показали, что деформирование пруткового лома в виде кусков арматуры из стали марки 18Г2С на стане радиально-сдвиговой прокатки позволяет существенно диспергировать его структуру с получением градиентной ультрамелкозернистой структуры, а это в свою очередь приводит к росту механических характеристик данной марки стали. Так предел прочности продеформированной на стане радиально-сдвиговой прокатки стали марки 18Г2С составил 620 МПа (при исходном значении 365 МПа).

Ключевые слова: рециклинг, прутковый лом черных металлов, арматура, радиально-сдвиговая прокатка, микроструктура, механические свойства.

	Информация об авторах:
Лежнев Сергей Николаевич	к.т.н., ассоциированный профессор, НАО «Рудненский индустриальный институт», профессор каф. «Металлургия и горное дело», +770117725358, sergey_legnev@mail.ru (корреспондирующий автор)
Найзабеков Абдрахман Батырбекович	д.т.н., профессор, НАО «Рудненский индустриальный институт», ректор, info@rii.kz
Волокитина Ирина Евгеньевна	доктор PhD, НАО «Рудненский индустриальный институт», доцент каф. «Металлургия и горное дело», +77012509353, irinka.vav@mail.ru
Панин Евгений Александрович	доктор PhD, НАО «Рудненский индустриальный институт», Старший научный сотрудник, +77017754616, cooper802@mail.ru
Кульдеев Ержан Итменевич	канд. техн. наук, ассоциированный профессор, Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Ведущий научный сотрудник. kuldeev_erzhan@mail.ru

Литература

- [1] Степанова С.А. "Создание общества, ориентированного на ресурсосбережение. Инициатива 3R" *Рециклинг отходов*, 2001, № 6, 3-4.
- [2] 1086789 USA. *Method of rolling flanged shapes*/ Edwin E. Slick, 1914.
- [3] 4982591 USA. *Rail recycle process*/ Darrell B. McGahhey, 1991.
- [4] Бадюк С.И., Лещенко А.И. Получение сортовых профилей проката из изношенных железнодорожных рельсов// *Обработка материалов давлением*. 2010. №4. - С. 162-167.
- [5] Разработка современной ресурсосберегающей технологии производства арматурного проката и мелющих шаров/ Рожков Г.К., Левандовский С.А., Саранча С.Ю. и др.// *Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением*, 2019 №3 – С. 18-22.
- [6] Бахтинов Ю.Б. О целесообразности перековки изношенных рельсов в сортовые профили // *Производство проката*. 2000. №7. - С. 2-4.
- [7] Технология переработки железнодорожных рельсов на сортовой прокат/ В.К. Смирнов, В.А. Шилов, А.М. Михайленко и др.// *Сталь*. 1995. №2. - С.46-48.
- [8] 2541211 РФ. *Способ изготовления сортового металлопроката из фрагментов рельс* / Матлашов А.М., 2015.
- [9] 2574531 РФ. *Способ производства сортового проката из демонтированного железнодорожного рельса* / Злобин А.А., 2016.
- [10] 2511201 РФ. *Способ перековки железнодорожных рельсов* / Трайно А.И., Иванов Д.М., 2014.
- [11] Galkin S.P. Radial shear rolling as an optimal technology for lean production// *Steel in Translation*. 2014. №44 (1). – P. 61-64.
- [12] 2356718 РФ. *Способ ремонта штанг насосных методом пластической деформации*. / Богатов Н.А., 2009.
- [13] Инновационная технология рециклинга насосных штанг с применением технологии и министанов радиально-сдвиговой прокатки в условиях ОАО «Очерский машиностроительный завод»/ Галкин С.П., Романцев Б.А. и др.// *Инженерная практика*, 2014. №9. – С. 58-61.
- [14] Осачук Э.А. Ремонт насосных штанг по принципу горячей радиально-сдвиговой винтовой прокатки// *Инженерная практика*, 2017. №1-2. – С. 17-22.
- [15] Гревцева В.В., Галкин С.П. Экспериментальное опробование технологии повторного использования железнодорожных осей с применением радиально-сдвиговой прокатки. / *72-е Дни науки студентов НИТУ "МИСиС"*, 2017. – С. 145-146.
- [16] Галкин С.П., Харитонов Е.А. Реверсивная радиально-сдвиговая прокатка. Сущность, возможности, преимущества // *Титан*. 2003. №1. - С. 39-45.
- [17] Kenzhaliyev B.K., Berkinbayeva A.N., Dosymbayeva Z.D., Sharipov R.H., Suleimenov E.N. Recycling multicomponent metallic domestic wastes using of the combined electrochemical reactions / XXI IUPAC CHEMRAWN CONFERENCE, Rome, Italy, April, 2016, pp. 6-8
- [18] Kenzhaliyev B.K., Kuldeyev E.I., Luganov V.A., Motovilov I.Y., Temirova S.S. "Production of Very Fine, Spherical, Particles of Ferriferous Pigments from the Diatomaceous Raw Material of Kazakhstan". *Glass and Ceramics*, 79(5), 194-198.
- [19] Kuldeyev E., Bondarenko I., Abdulvaliyev R., Temirova S., Abdikerim B. "Processing of low quality ekibastuz coals ashes and natural diatomites to obtain alumina and foamed glass". *Metalurgija*, 59(3), 351-354.
- [20] Kenzhaliyev B. K. Innovative technologies providing enhancement of nonferrous, precious, rare and rare earth metals extraction // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a (Complex Use of Mineral Resources)*. – 2019. – №3 (310). - Page: 64-75. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.30>

References

- [1] Stepanova S.A. "Sozdanie obshchestva, orientirovannogo na resursoberezenie. Iniciativa-3R" ["Creating of the resource-saving society. 3R Initiative"] *Recikling othodov*, 2001 №6, 3-4. (In Rus.).
- [2] 1086789USA. *Method of rolling flanged shapes*/ Edwin E. Slick, 1914. (In Eng.).
- [3] 4982591USA. *Rail recycle process*/ Darrell B. McGahhey, 1991. (In Eng.).
- [4] Badyuk S.I., Leshchenko A.I. Poluchenie sortovyh profilej prokata iz iznoshennyh zheleznodorozhnyh rel'sov [Producing of section iron profiles from worn-out railway rails] // *Obrabotka materialov davleniem*. 2010. №4. - S. 162-167. (In Rus.).
- [5] Razrabotka sovremennoj resursoberegayushchej tekhnologii proizvodstva armaturnogo prokata i melyushchih sharov [Development of a modern resource-saving technology for the production of reinforcing bars and grinding balls] / Rozhkov G.K., Levandovskij S.A., Sarancha S.YU. i dr. // *Modelirovanie i razvitie processov obrabotki metallov davleniem*, 2019 №3 – S. 18-22. (In Rus.).
- [6] Bahtinov YU.B. O celesoobraznosti perekatki iznoshennyh rel'sov v sortovye profili [On the expediency of rolling worn-out rails into profiled sections] // *Proizvodstvo prokata*. 2000. №7. - S. 2-4. (In Rus.).
- [7] Tekhnologiya pererabotki zheleznodorozhnyh rel'sov na sortovoj prokat [The technology of processing railway rails to section iron] / V.K. Smirnov, V.A. SHilov, A.M. Mihajlenko i dr. // *Stal'*. 1995. №2. - S.46-48. (In Rus.).
- [8] 2541211 RF. Sposob izgotovleniya sortovogo metalloprokata iz fragmentov rel's [2541211RF. Method for the manufacture of section iron from rail fragments] / Matlashov A.M., 2015. (In Rus.).
- [9] 2574531 RF. Sposob proizvodstva sortovogo prokata iz demontirovannogo zheleznodorozhnogo rel'sa [2574531 RF. Method for the production of section iron from a dismantled railway rail] / Zlobin A.A., 2016. (In Rus.).
- [10] 2511201 RF. Sposob perekatki zheleznodorozhnyh rel'sov [2511201 RF. Method of rolling railway rails] / Trajno A.I., Ivanov D.M., 2014. (In Rus.).
- [11] Galkin S.P. Radial shear rolling as an optimal technology for lean production // *Steel in Translation*. 2014. №44 (1). – P. 61-64. (In Eng.).
- [12] 2356718 RF. Sposob remonta shtang nasosnyh metodom plasticheskoj deformacii. [2356718 RF. Method for repairing pump rods by plastic deformation.] / Bogatov N.A., 2009. (In Rus.).
- [13] Innovacionnaya tekhnologiya reciklinga nasosnyh shtang s primeneniem tekhnologii i ministanov radial'no-sdvigovoj prokatki v usloviyah OAO «Ocherskij mashinostroitel'nyi zavod» [Innovative technology for pump rods recycling with the use of technology and mini radial-shear rolling mills in the conditions of Ocher Machine-Building Plant OJSC] / Galkin S.P., Romancev B.A. i dr. // *Inzhenernaya praktika*, 2014. №9. – S. 58-61. (In Rus.).
- [14] Osachuk E.A. Remont nasosnyh shtang po principu goryachej radial'no-sdvigovoj vintovoj prokatki [Repair of pump rods by the principle of hot radial-shear screw rolling] // *Inzhenernaya praktika*, 2017. №1-2. – S. 17-22. (In Rus.).
- [15] Grevceva V.V., Galkin S.P. Eksperimental'noe opitovanie tekhnologii povtornogo ispol'zovaniya zheleznodorozhnyh osey s primeneniem radial'no-sdvigovoj prokatki. [Experimental testing of the railway axles reuse technology with the use of radial-shear rolling.] / *72-e Dni nauki studentov NITU "MISiS"*, 2017. – S. 145-146. (In Rus.).
- [16] Galkin S.P., Haritonov E.A. Reversivnaya radial'no-sdvigovaya prokatka. Sushchnost', vozmozhnosti, preimushchestva [Reversible radial shear rolling. Essence, capabilities, advantages] // *Titan*. 2003. №1. - S. 39-45. (In Rus.).
- [17] Kenzhaliyev B.K., Berkinbayeva A.N., Dosymbayeva Z.D., Sharipov R.H., Suleimenov E.N. Recycling multicomponent metallic domestic wastes using of the combined electrochemical reactions / XXI IUPAC CHEMRAWN CONFERENCE, Rome, Italy, April 2016, pp. 6-8. (In Eng.).
- [18] Kenzhaliyev B.K., Kuldeyev E.I., Luganov V.A., Motovilov I.Y., Temirova S. S. Production of Very Fine, Spherical, Particles of Ferriferous Pigments from the Diatomaceous Raw Material of Kazakhstan. *Glass and Ceramics*, 79(5), 194-198.
- [19] Kuldeyev E., Bondarenko I., Abdulvaliyev R., Temirova S., Abdikerim B. "Processing of low quality ekibastuz coals ashes and natural diatomites to obtain alumina and foamed glass". *Metalurgija*, 59(3), 351-354. (In Eng.).
- [20] Kenzhaliyev B. K. Innovative technologies providing enhancement of nonferrous, precious, rare and rare earth metals extraction // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a (Complex Use of Mineral Resources)*. – 2019. – №3 (310). – Page: 64-75. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.30> (In Eng.).



УДК УДК 622.323(574)

DOI: 10.31643/2021/6445.07



МРПТИ 52.47.27

The effectiveness of the use of physical impact on the reservoir to reduce the viscosity and increase oil recovery

^{1*} Moldabayeva G. Zh., ¹ Suleimenova R. T., ² Agzamov A. Kh., ¹ Abileva S. Zh., ¹ Baluanov B. A.,
³ Karimova A. S.

¹ Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

² Karshi Engineering and Economic Institute, Karshi, Uzbekistan

³ Safi Utebayev Atyrau University of Oil and Gas, Atyrau, Kazakhstan

* Corresponding author email: g.moldabayeva@satbayev.university

ABSTRACT

This article provides a technical and economic assessment of the effectiveness of the application of physical impact on a productive formation in one of the fields in Western Kazakhstan. The world experience of using the technology of physical stimulation in the fields shows high technological efficiency. Also, in order to optimize oil production, as a result of physical impact, changes in oil viscosity, an increase in oil production and a decrease in water cut were calculated. All the Cretaceous horizons have good reservoir properties, however, the high viscosity of oil and poor consolidation of the rocks composing the horizons do not allow for the full recovery of the product. Determination of phase permeabilities in the oil-water system was carried out in laboratory conditions with joint stationary filtration. According to the calculations performed in order to optimize oil production, as a result of physical impact, the oil viscosity changed to a value of 430 cP from 700 cP, the value decreased almost 2 times. There is also an increase in oil production and a decrease in water cut.

Keywords: Physical impact, viscosity, oil recovery factor, technical and economic efficiency, technology of physical impact, geological and technical measures.

Received: 26 January 2021
Peer reviewed: 15 February 2021
Accepted: 04 March 2021

Information about authors:

Moldabayeva Gulnaz Zhaksylykovna

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Petroleum Engineering, Satbayev University, 050013, Satpayev 22a, Almaty, Kazakhstan. Email: moldabayeva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7331-1633>

Suleimenova Raikhan Taupikhovna

Doctoral student of the Department of Petroleum Engineering, Satbayev University, 050013, Satpayeva 22a, Almaty, Kazakhstan. Email: raika_83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7995-5560>

Agzamov Avaz Khamidillaevich

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields, Karshi Engineering and Economic Institute, 180100, Mustakillik Avenue, 225, Karshi, Uzbekistan

Abileva Saule Zhalgasbaykyzy

Doctoral student of the Department of Petroleum Engineering, Satbayev University, 050013, Satpayeva 22a, Almaty, Kazakhstan. Email: saulezh007@gmail.com

Baluanov Bakytzhan Aytuarovich

Doctoral student of the Department of Petroleum Engineering, Satbayev University, 050013, Satpayeva 22a, Almaty, Kazakhstan. Email: baluan101@gmail.com

Karimova Akmaral Safiullaevna

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Oil and Gas Faculty, Atyrau University of Oil and Gas named after Safi Utebayev, Baimukhanov 45a, Atyrau, Kazakhstan. Email: akmaral0167@mail.ru

Эффективность применения физического воздействия на продуктивный пласт для снижения вязкости и увеличения нефтеотдачи пластов

^{1*} Молдабаева Г. Ж., ¹ Сулейменова Р. Т., ² Агзамов А. Х., ¹ Абилева С. Ж., ¹ Балуюнов Б. А.,
³ Каримова А. С.

¹ Satbayev University, Алматы, Казахстан

² Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан

³ Атырауский университет нефти и газа имени СафиУтебаева, Атырау, Казахстан

* Электронная почта автора: g.moldabayeva@satbayev.university

АННОТАЦИЯ

В данной статье проведена технико-экономическая оценка эффективности применения физического воздействия на продуктивный пласт в одном из месторождений Западного Казахстана. Мировой опыт использования технологии физического воздействия на месторождениях показывает высокую технологическую эффективность. Также в целях

Статья поступила: 26 января 2021
Рецензирование: 15 февраля 2021
Принята в печать: 04 марта 2021

оптимизации добычи нефти, в результате физического воздействия были рассчитаны изменения вязкости нефти, увеличение добычи нефти и снижение обводненности. Все меловые горизонты обладают хорошими коллекторскими свойствами, однако, высокая вязкость нефти и слабая сцементированность пород, слагающих горизонты, не позволяют в полной мере извлекать продукт. Определение фазовых проницаемостей в системе «нефть-вода» проводилось в лабораторных условиях при совместной стационарной фильтрации. По выполненным расчетам в целях оптимизации добычи нефти, в результате физического воздействия вязкость нефти изменилась до значения 430 сПз от 700 сПз, практически в 2 раза снизилось значение. Также наблюдается увеличение добычи нефти и снижение обводненности.

Ключевые слова: физическое воздействие, вязкость, коэффициент извлечения нефти, технико-экономическая эффективность, технология физического воздействия, геолого-техническое мероприятие.

Информация об авторах:	
Молдабаева Гульназ Жаксылыковна	Доктор технических наук, ассоциированный профессор кафедры «Нефтяная Инженерия», Satbayev University, 050013, Сатпаева 22а, Алматы, Казахстан. https://orcid.org/0000-0001-7331-1633 . Email: moldabayeva@gmail.com
Сулейменова Райхан Таупиховна	Докторант кафедры «Нефтяная Инженерия», Satbayev University, 050013, Сатпаева 22а, Алматы, Казахстан. https://orcid.org/0000-0001-7995-5560 . Email: raika_83@mail.ru,
Азгамов Аваз Хамидиллаевич	Доктор технических наук, профессор кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Каршинский инженерно-экономического институт, 180100, проспект Мустакиллик, 225, г.Карши, Узбекистан
Абилева Сауле Жалгасбайқызы	Докторант кафедры «Нефтяная Инженерия», Satbayev University, 050013, Сатпаева 22а, Алматы, Казахстан. Email: saulezh007@gmail.com
Балуанов Бакытжан Айтуарович	Докторант кафедры «Нефтяная Инженерия», Satbayev University, 050013, Сатпаева 22а, Алматы, Казахстан. Email: baluan101@gmail.com
Каримова Акмарал Сафиуллаевна	Кандидат физико-математических наук, доцент Нефтегазового факультета, Атырауский университет нефти и газа имени Сафи Утебаева, Баймуханова 45а, Атырау, Казахстан. Email: akmaral0167@mail.ru

Введение

В статье рассмотрена гидродинамическая модель на основе существующего месторождения в юго-восточной части Прикаспийской впадины, относящегося к группе месторождений, разрабатываемых национальной компанией. Моделирование разработки нефтяных месторождений позволяет уточнить геологическое строение и фильтрационно-емкостные свойства нефтяного пласта при воспроизведении истории разработки (history matching). Главной целью гидродинамического моделирования является обоснование геолого-технических мероприятий в средне- и долгосрочной перспективах разработки, а также оптимизация систем разработки выработанных месторождений с использованием современных технологий оптимизации заводнения и третичных методов повышения нефтеотдачи [1-11].

Экспериментальная часть

В разрезе месторождения выявлены продуктивные горизонты меловых отложений (рис. 1) и юрских отложений. Меловые горизонты приурочены к неокомским терригенным

отложениям нижнего мела, юрские - к терригенным отложениям средней юры [4, 5].

В меловых отложениях установлено 3 нефтяных горизонта, залегающих на глубине 190-300м (рис. 2).

Все меловые горизонты обладают хорошими коллекторскими свойствами, однако, высокая вязкость нефти и слабая сцементированность пород, слагающих горизонты, не позволяют в полной мере извлекать продукт [2].

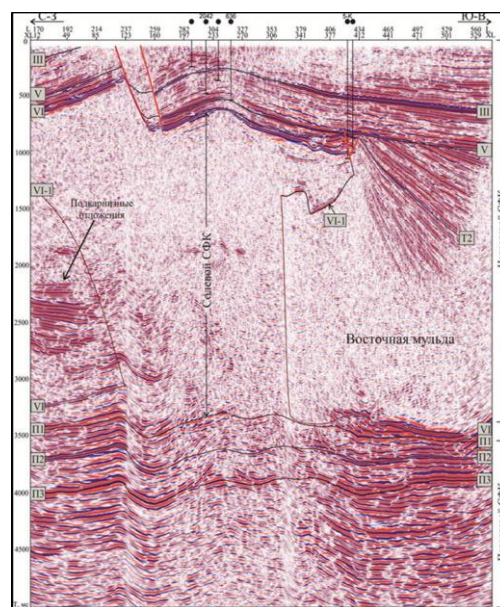


Рисунок 1 - Сейсмический профиль месторождения

Горизонт Ю-II с учетом новых данных по вновь пробуренным скважинам разделен два пласта Ю-II-A и Ю-II-B. В пределах горизонта Ю-III прослеживаются также 2 пласта, к верхнему

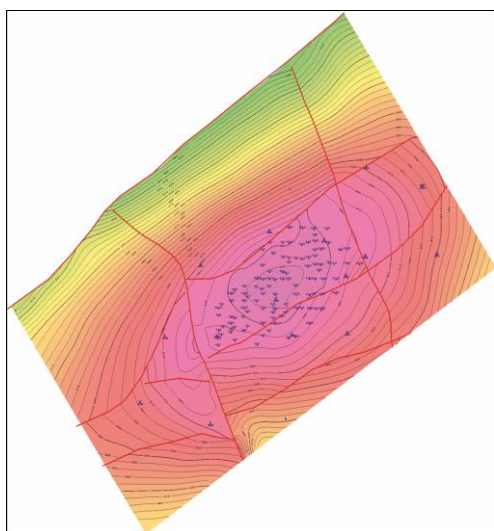


Рисунок 2 - Отражающий горизонт по подошве меловых отложений

пласту Ю-III-A приурочена нефтяная залежь, нижний Ю-III-B – водоносный.

Особенностью данного месторождения является флюидальная система. В таблице 1 приведены свойства нефти всех горизонтов.

Класс нефти по содержанию серы нефти всех продуктивных горизонтов относятся к 1 классу с концентрацией 0,10-0,43% масс и являются малосернистыми [13, 14].

По показателю плотности нефти всех продуктивных горизонтов относятся как к тяжелым, так и к битуминозным нефтям. Среднее значение по горизонтам изменяется в пределах 876-917 кг/м³ (типы 2, 3). По содержанию парафина нефти всех продуктивных горизонтов являются малопарафинистые и парафинистые (Ю-III-A). Среднее значение парафина по горизонтам колеблется в пределах 0,49-2,08% масс. По содержанию смол нефти всех продуктивных горизонтов относятся к малосмолистым. Среднее значение содержание смол по горизонтам в пределах 6,4-14,3% масс.

По значениям вязкости выше 200 мПа•с нефть относится к высоковязким или сверхвязким нефтям [18, 19] (таблица 1). Построена зависимость вязкости пластовой нефти от плотности пластовой нефти (рис. 3).

На рисунке 4 показано изменение плотности нефти с глубиной, т.е. с уменьшением глубины нефти тяжелеет. Также это подтверждается и

другими параметрами: газосодержание, вязкостью [17].

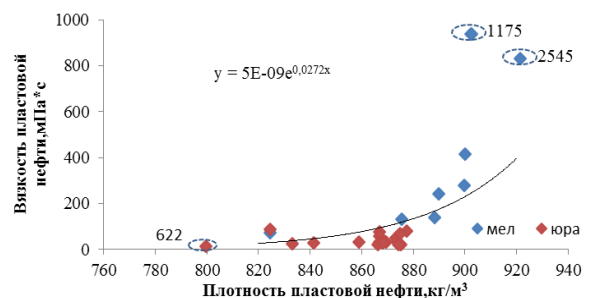


Рисунок 3- Зависимость вязкости пластовой нефти от плотности пластовой нефти

Определение фазовых проницаемостей в системе «нефть-вода» проводилось в лабораторных условиях при совместной стационарной фильтрации [4, 3]. Нефть использовалась со следующими параметрами: для меловых отложений вязкостью $\mu_n = 48 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ и плотностью $\rho_n = 0,91 \text{ г/см}^3$ при $T_{пл} = 25^\circ\text{C}$; для юрских отложений вязкостью $\mu_n = 30 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ и плотностью $\rho_n = 0,878 \text{ г/см}^3$ при $T_{пл} = 30^\circ\text{C}$.

Таблица 1 - Свойства флюидальной системы месторождения

Параметры	М-I-A	М-I-B	М-I-B
Плотность в поверхностных условиях, кг/м ³	917	917	917
Кинематическая вязкость при 20°C, мм ² /с	-	807,5	691,5
Давление насыщения, МПа	-	0,2	0,6
Газосодержание, м ³ /т	-	1,29	3,6
Объемный коэффициент, доли ед.	-	1,006	1,014

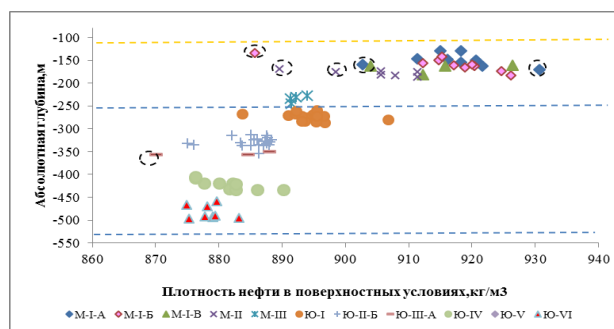


Рисунок 1 - Изменение плотности нефти с глубиной

Результаты определения ОФП модели 1 даны в таблице 2 и рисунке 5, из которых можно сделать вывод, что коллектора и меловых и юрских отложений гидрофильны.

По меловым отложениям исследована 1 модель по образцам горизонта М-II – остаточная водонасыщенность составляет 23,1%, остаточная нефтенасыщенность - 36,7% и коэффициент вытеснения при этом составляет 52,3%.

Таблица 2 - Результаты определения ОФП в системе "нефть-вода" на модели № 1

№ режима	Доля флюида в потоке, %		Насыщенность, доли ед.		Фазовая проницаемость, $\text{мкм}^2 \cdot 10^{-3}$	
	нефть	вода	нефть	вода	нефть	вода
1	0	100	0	1	0	3021,38
2	100	0	0,769	0,231	2818,45	0
3	75	25	0,694	0,306	2209,7	14,092
4	50	50	0,645	0,355	1739,01	31
5	25	75	0,592	0,408	1319,1	70,46
6	10	90	0,526	0,474	808,91	129,65
7	5	95	0,477	0,523	532,7	183,2
8	0	100	0,367	0,633	0	763,81

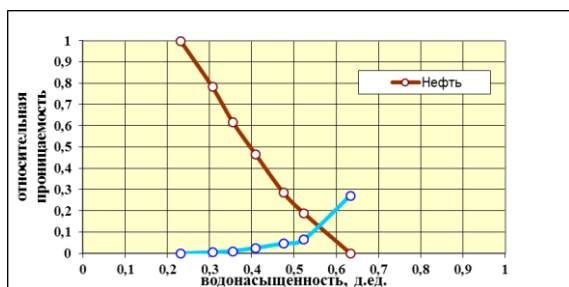


Рисунок 5 - Относительные фазовые проницаемости «нефть-вода» (мел)

Граничное значение пористости для меловых и юрских отложений определено по пересечению линии граничного значения проницаемости с трендом зависимости коэффициента проницаемости от коэффициента пористости, соответственно равным 20,6% и 18,2% (рис. 6).

Эксплуатация месторождения на участке осуществляется механизированным способом при помощи УШГН и УЭВН в силу высокой вязкости, пескопроявления. Принята одинаковая плотность сетки скважин 200x200м и одинаковая система заводнения – 9 точечная система площадного заводнения. Давление нагнетания принято равным 8 МПа [4].

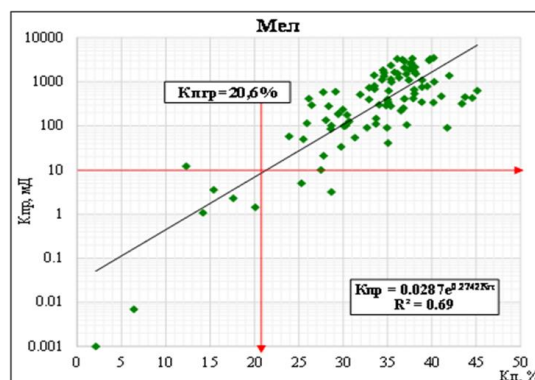


Рисунок 6 - Зависимость коэффициента проницаемости и пористости (мел)

Для объектов I и II реализована площадная девятиточечная обращенная система разработки, для других объектов - очаговая система.

Текущий КИН по 1 объекту составляет 0,01 д. ед., тогда как утвержденный проектный КИН составляет 0,359 д. ед. Меловые отложение характеризуются наименьшими темпами отбора.

Объект I

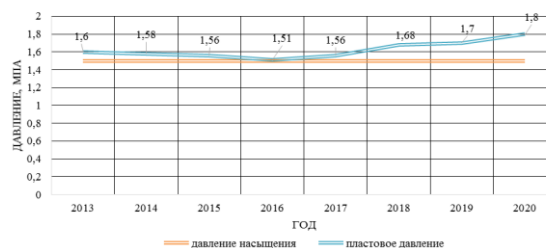


Рисунок 7 - Динамика давлений в ходе эксплуатации объекта I

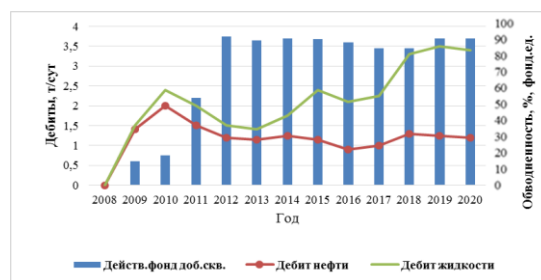


Рисунок 8 - Динамика основных технологических показателей разработки объекта I

По объектам I, II и III снижения пластового давления не наблюдается. Энергетическое состояние характеризуется как стабильное.

По объектам снижение текущего пластового давления от начального одинаково незначительное, составляет 0,3-0,8 МПа.

В 2020 году обводненность добываемой продукции составляет 66%. Средний дебит нефти составляет примерно 3,4 т/сут, тогда как

максимальный дебит составлял 3,6 т/сут по объекту I.

Результаты и обсуждение

В целях оптимизации добычи нефти были рассмотрены следующие условия при проведении физического воздействия на призабойную зону пласта: интенсивность сейсмических волн в пласте – более 10-5 Вт/м², частота – менее 10 Гц. [18].

Таблица 4 – Принимаемые первоначальные параметры при расчете

<i>h</i>	9,8	м
<i>Площадь ПЗС 1 скважины</i>	78,5	м ²
<i>Объем порового пространства</i>	269,3	м ³
<i>Первоначальная вязкость нефти</i>	700,0	сПз
<i>Плотность нефти в пластовых условиях</i>	900	т/м ³
<i>Дебит нефти</i>	4,1	т/сут
<i>Обводненность</i>	67	%

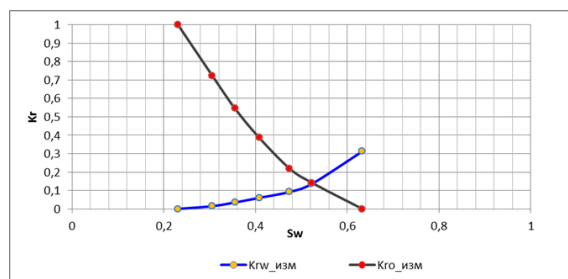
Основные параметры, которые подверглись изменению – это относительные фазовые проницаемости по нефти и воде, вязкость нефти за счет снижения межфазного натяжения флюидов [12].

Таблица 5 – Основные измененные параметры

№	<i>S_o</i>	<i>S_w</i>	<i>K_{rw}</i>
1	1		
2	0	1	
3	0,769	0,231	0
4	0,694	0,306	0,015
5	0,645	0,355	0,035
6	0,592	0,408	0,06
7	0,526	0,474	0,092
8	0,477	0,523	0,136
9	0,367	0,633	0,312

На рисунке 9 представлено графически изменение фазовых относительных проницаемости.

Вязкость нефти изменилась до значения 430 сПз, то есть практически в 2 раза снизилось значение [6-9].



Мес.	Дебит нефти, т/сут	Доп. добыча, т/сут	Добыча нефти, т	Добыча жид., мт	Обв., %
1	6,14	2,04	165,89	267,1	61
2	6,63	2,53	179,00	282,8	58,0
3	6,30	2,20	170,05	268,0	57,6
4	5,35	1,25	144,54	227,3	57,3
5	4,97	0,87	134,28	210,4	56,7
6	5,12	1,02	138,31	217,2	57,0
7	4,66	0,56	125,72	197,3	56,9
8	4,10	0,00	110,63	169,2	53,0
9	3,65	-0,45	98,46	148,0	50,3

Рисунок 9 - Измененные ФОП

Посчитанная добыча нефти представлена на рисунке 10 и в таблице 6 ниже. Наблюдается незначительное увеличение добычи нефти, обводненность практически без изменения.

Таблица 6 – Посчитанная добыча

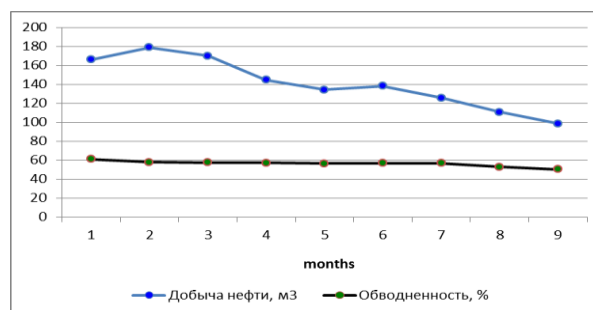


Рисунок 10 - Измененные ФОП

Проведя простые экономические расчеты, была получена эффективность проведения геолого-технического мероприятия из расчета на одну скважину. Необходимо учитывать, что затраты по ГТМ представлены только стоимостью проведения одного мероприятия.

Предполагается, что ГТМ будет проводиться в течение 12 часов, т.е. при расчетах учитывается также простой скважины на капитальный ремонт скважин. Также рассматривается мобилизация оборудования КРС и тарифные ставки самой бригады КРС.

Таблица 7 – Эффективность проведения ГТМ

Параметры ГТМ	Стоим.	Ед. изм.	Ко л. про в.
Стоим.пров. 1 ГТМ бригадой	11500000	тг	2
Мобил.оборуд.расх одных материалов	520000	тг	4
Бригада КРС	5000	долл	.
Мобил. КРС оборудования	5000	долл	.
Простой 1 скважины	-410000	тг	2
Реализ. 1 тонна нефти	50000	тг/тн	
Прибыль при реализ.продук.	56305343,04	тг	
Чистая прибыль	35 395 343	тг.	

Выводы

Подводя итоги анализа применения методов физического воздействия на залежь, можно отметить следующее: данные физические методы являются перспективными, которые приводят к разрушению структур нефтяных ассоциатов и тем самым снижают вязкость нефти; данные методы имеют высокий технологический потенциал, позволяют увеличить конечный коэффициент извлечения нефти, а также снизить вязкость и объемы бываемой воды при

разработке месторождений, находящихся на поздней стадии разработки; максимальная эффективность при реализации данных методов достижима на неглубоких многопластовых месторождениях (глубина залегания до 2000 м);

По выполненным расчетам в целях оптимизации добычи нефти, в результате физического воздействия вязкость нефти изменилась до значения 430 сПз от 700 сПз, практически в 2 раза снизилось значение. Также наблюдается увеличение добычи нефти и снижение обводненности.

Благодаря проведению простых экономических расчетов, была получена эффективность проведения геолого-технического мероприятия из расчета на одну скважину.

На сегодняшний день по увеличению нефтеотдачи пластов физическими методами опубликовано большое количество работ, в которых разъясняется физическая сторона данного вопроса и предлагаются различные технико-технологические решения по использованию данного воздействия на залежь.

Влияние физическими методами на реологические свойства нефти, а также на её поведение после обработки исследовано недостаточно.

Данное направление для увеличения нефтеотдачи является перспективным и требует дальнейшего испытания.

Конфликт интересов

От имени всех авторов корреспондент автор заявляет, что конфликта интересов нет.

Ссылка на данную статью: Молдабаева Г.Ж., Сулейменова Р. Т., Агзамов А. Х., Абилова С. Ж., Балуанов Б. А. Каримова А. С. Эффективность применения физического воздействия на продуктивный пласт для снижения вязкости и увеличения нефтеотдачи пластов // *Комплексное использование минерального сырья = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu.* 2021. №1(316), стр. 53-61. <https://doi.org/10.31643/2021/6445.07>

Cite this article as: Moldabayeva G.Zh., Suleimenova R.T., Abileva S. Zh., Baluanov B. A. Karimova A.S. Effektivnost' primeneniya fizicheskogo vozdeystviya na produktivnyy plast dlya snizheniya vyazkosti i uvelicheniya nefteotdachi plastov [The effectiveness of the use of physical impact on the reservoir to reduce the viscosity and increase oil recovery]. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu.* 2021. № 1 (316), pp. 53-61. (In Rus.). <https://doi.org/10.31643/2021/6445.07>

Тұтқырлықты төмендету және мұнайдың шығымын арттыру үшін қабатқа физикалық әсер етуді қолдану тиімділігі

^{1*} Молдабаева Г.Ж., ¹ Сулейменова Р. Т., ² Агзамов А. Х., ¹ Абилова С. Ж., ¹ Балуюнов Б. А.,
³ Каримова А. С.

¹ Satbayev University, Алматы, Қазақстан

² Карши инженерлік-экономикалық институты, Карши, Өзбекстан

³ Сафи Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау, Қазақстан

* Corresponding author email: g.moldabayeva@satbayev.university

Мақала келді: 26 қаңтар 2021 Рецензенттен өтті: 15 ақпан 2021 Қабылданды: 04 наурыз 2021	<p>ТҮЙІНДЕМЕ</p> <p>Бұл мақалада Батыс Қазақстандағы кен орындарының бірінде өнімді қабатқа физикалық әсер ету тиімділігінің техникалық-экономикалық көрсеткіштері қарастырылған. Өнімді қабатқа физикалық әсер етуді ынталандыру технологиясын қолданудың әлемдік тәжірибесі жоғары технологиялық тиімділікті көрсетеді. Сондай-ақ, мұнай өндіруді оңтайландыру мақсатында физикалық әсер ету нәтижесінде мұнай тұтқырлығының өзгеруі, мұнай өндірісінің артуы және суланудың азаюы айтылады. Борлы горизонттар жақсы қабаттық қасиеттерге ие, алайда мұнайдың тұтқырлығы жоғары және горизонттарды құрайтын жыныстардың нашар цементтелген жағдайына байланысты өнімнің толық шығу қарқынына мүмкіндік бермейді. Мұнай-су жүйесіндегі фазалық өткізгіштікті стационарлық фильтрацияны анықтау зертханалық жағдайда жүргізілді. Мұнай өндіруді оңтайландыру мақсатында жүргізілген есептеулерге сәйкес, физикалық әсер ету нәтижесінде мұнай тұтқырлығы 430 сПз мәніне және 700 сПз-ден өзгеріп, мәні екі есеге жуық қысқарды. Бұндайда мұнай өндірудің ұлғаюы және өнімнің сулануы азаю байқалады.</p> <p>Түйін сөздер: Физикалық әсер, тұтқырлық, мұнайды алу коэффициенті, техникалық-экономикалық тиімділік, физикалық әсер ету технологиясы, геологиялық-техникалық шаралар.</p>
Молдабаева Гульназ Жаксылыковна	<p>Авторлар туралы ақпарат: Техника ғылымдарының докторы, Satbayev University, «Мұнай инженерия» кафедрасының профессоры. 050013, Сатпаев 22а, Алматы, Қазақстан. Email: moldabayeva@gmail.com, https://orcid.org/0000-0001-7331-1633</p>
Сулейменова Райхан Тауриховна	<p>«Мұнай инженерия» кафедрасының докторанты, Satbayev University, 050013, Сатпаева 22а, Алматы, Қазақстан. Email: raika_83@mail.ru, https://orcid.org/0000-0001-7995-5560</p>
Агзамов Аваз Хамидиллаевич	<p>Техника ғылымдарының докторы, Карши инженерлік-экономикалық институты, Мұнай және газ кен орындарын игеру және пайдалану кафедрасының профессоры, 180100, Mustakillik даңғылы, 225, Карши, Өзбекстан</p>
Абилова Сәуле Жалғасбайқызы	<p>«Мұнай инженерия» кафедрасының докторанты, Satbayev University, 050013, Сатпаева 22а, Алматы, Қазақстан. Email: saulezh007@gmail.com</p>
Балуюнов Бақытжан Айтуарұлы	<p>«Мұнай инженерия» кафедрасының докторанты, Satbayev University, 050013, Сатпаева 22а, Алматы, Қазақстан. Email: baluan101@gmail.com</p>
Каримова Акмарал Сафиуллаевна	<p>Физика-математика ғылымдарының кандидаты, Сафи Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Мұнай-газ факультеті доценті. Баймұханов 45а, Атырау, Қазақстан. Email: aktara10167@mail.ru</p>

Литература

- [1] Mullakaev M.S., Abramov V.O., Abramova A.V. Development of ultrasonic equipment and technology for well stimulation and enhanced oil recovery. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2015. Vol. 125. P. 1-8.
- [2] M.S. Mullakaev, V.O. Abramov, A.V. Abramova. Ultrasonic piezoceramic module and technology for stimulating low-productivity wells. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2017. Vol. 158. - P. 529 - 534.
- [3] В.Е. Андреев, Г.С. Дубинский, А.В. Чибисов, Р.Т. Ахметов, С.А. Яскин, В.В. Мухаметшин, А.Р. Хафизов. Группирование объектов разработки при проектировании мероприятий по увеличению нефтеотдачи. Нефтегазовое дело. - 2015. Т. 13. -№ 4. -С. 89-96.
- [4] Отчет Нефтегазовая отрасль Республики Казахстан. KASE. Июль, 2019г.
- [5] Градов, О.М. Оптимизация управления ультразвуковой обработкой материала нефтяных пластов в процессе акустической стимуляции скважин. Материаловедение. - 2015. - № 4. - С. 11-17.
- [6] M.S Mullakaev., G.I. Volkova. Sonochemical technology for reduction on the viscosity temperature properties of crude oils of various compositions. Journal of Petroleum Science and Engineering. 2018.
- [7] Лесин В.И., Клепиков И.А. Применение фрактальной теории вязкости дисперсных систем к аномальной зависимости вязкости от скорости сдвига. Нефтяное хозяйство. - 2015. № 2. С. 38-41.
- [8] Д.Н. Мусина, Б.Р. Ваганов, О.Ю. Сладовская. Современные технологии повышения нефтеотдачи пластов на основе ПАВ. Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 12. – С.63- 67

- [9] Волкова Г.И., Ануфриев Р.В., Юдина Н.В., Муллакаев М.С. Применение ультразвуковой обработки для снижения вязкостно-температурных характеристик нефти. *Neftegaz.RU*. –2015. – № 3. – С. 20–23.
- [10] А. Х. Чолоян, Г. С. Дубинский. Термическое и физико-химическое воздействие на продуктивный пласт при добыче высоковязких нефтей. *Нефтегаз. технол. и новые матер. (пробл. и решения)*. – 2015. – № 4. – С. 243- 251.
- [11] Паклинов Н.М., Барышников А.А., Ведменский А.М. Воздействие на нефтесодержащий пласт физическими полями с целью увеличения нефтеотдачи. *Современные проблемы науки и образования*. - 2015. -№2-2.;
- [12] Hua, Q.; Tan, D.; Chen, L.; Tian, S.; Hu, Y. Ultrasonic irradiation reduces Shengli heavy oil viscosity. *Oil Gas J.* 2017, 115, 46–49.
- [13] В. Н. Вережников, И. И. Гермашева, М. Ю. Крысин. Коллоидная химия поверхностно-активных веществ: Учебное пособие Спб.: Лань. – 2015. – 304 с.
- [14] Speight J.G. *Introduction to Enhanced Recovery Methods for Heavy Oil and Tar Sands*. Elsevier; Laramie, WY, USA: 2016. Nonthermal methods of recovery; pp. 353–403
- [15] Прачкин В.Г. Интенсификация добычи нефти комбинированным методом на основе ультразвукового воздействия. Разработка и Эксплуатация НГМ, диссертация, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия- С. 148
- [16] Avvaru, B.; Venkateswaran, N.; Uppara, P.; Iyengar, S.B.; Katti, S.S. Current knowledge and potential applications of cavitation technologies for the petroleum industry. *Ultrason. Sonochem.* 2018, 42, 493–507.
- [17] Л. К. Алтунина, В. А. Кувшинов, И. В. Кувшинов. Нетермические физико-химические технологии увеличения нефтеотдачи из залежей высоковязких нефтей. *Нефть и газ*. – 2016. – № 5(95). – С. 57–66.
- [18] G.Zh. Moldabayeva, R.T. Suleimenova, "Scientific and Technical Substantiation of Reducing Oil Viscosity", *International Journal of Engineering Research and Technology*, (ISSN 0974-3154) 2020, 13(5), с. 967-972
- [19] Moldabayeva G.; Suleimenova R.; Experimental support of field trial on the polymer flooding technology substantiation in the oil field of western Kazakhstan. "Periódico tchê química". Volume 17 - Número 35. 2020, ISSN 2179-0302. pp 963-975.

Reference

- [1] Mullakaev M.S., Abramov V.O., Abramova A.V. Development of ultrasonic equipment and technology for well stimulation and enhanced oil recovery. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2015. Vol. 125. P. 1-8. (in Eng).
- [2] Mullakaev, M.S. Mullakaev, V.O. Abramov, A.V. Abramova. Ultrasonic piezoceramic module and technology for stimulating low-productivity wells. *M.S. Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2017. Vol. 158. -p. 529 - 534. (in Eng).
- [3] V.E. Andreev, G.S. Dubinsky, A.V. Chibisov, R.T. Akhmetov, S.A. Yaskin, V.V. Mukhametshin, A.R. Khafizov. Grupperovaniye ob'yektov pri proyektirovani meropriyatiy po uvelicheniyu nefteotdachi. [Grouping of development objects in the design of measures to increase oil recovery]. *Neftegazovoye delo=Oil and Gas Business*. 2015. T. 13. -No. 4. -С. 89-96. (in Russ).
- [4] Otchet Neftegazovaya otrasl' Respubliki Kazakhstan [Report "Oil and Gas Industry of the Republic of Kazakhstan]. KASE. July, 2019. (in Russ).
- [5] Gradov, O.M. Optimizatsiya upravleniya ul'trazvukovoy obrabotkoy materiala neftyanykh plastov v protsesse akusticheskoy stimulyatsii skvazhin [Optimization of control of ultrasonic treatment of oil reservoir material in the process of acoustic stimulation of wells]. *Materialovedeniye=Materials Science*. 2015. - No. 4. - S. 11-17. (in Russ).
- [6] M.S Mullakaev., G.I. Volkova. Sonochemical technology for reduction on the viscosity temperature properties of crude oils of various compositions. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2018. (in Eng).
- [7] Lesin V.I., Klepikov I.A. Primneniye fraktal'noy teorii vyazkosti dispersnykh sistem k anomal'noy zavisimosti vyazkosti ot skorosti sdviga [Application of the fractal theory of viscosity of dispersed systems to the anomalous dependence of viscosity on shear rate]. *Neftyanoye khozyaystvo=Oil industry*. 2015. No. 2. P. 38-41. (in Russ).
- [8] Musina, B.R. Vaganov, O. Yu. Sladovskaya. Sovremennyye tekhnologii povysheniya nefteotdachi plastov na osnove PAV [Modern technologies for enhanced oil recovery based on surfactants]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta=Bulletin of Kazan Technological University*. 2016. - T. 19. - No. 12. - P.63-67. (in Russ).
- [9] Volkova G.I., Anufriev R.V., Yudina N.V., Mullakaev M.S. Primneniye ul'trazvukovoy obrabotki dlya snizheniya vyazkostno-temperaturnykh kharakteristik nefiti [The use of ultrasonic treatment to reduce the viscosity-temperature characteristics of oil]. *Neftegaz.RU*. 2015. - No. 3. - P. 20–23. (in Russ).
- [10] Choloyan, A.Kh. Choloyan A. Kh., Dubinsky G. S. Termicheskoye i fiziko-khimicheskoye vozdeystviye na produktivnyy plast pri dobyche vysokovyazkikh neftey [Thermal and physicochemical impact on the productive

- formation during the production of high-viscosity oils]. *Neftegaz. tekhnol. i novyye mater. (probl. i resheniya)=Neftegaz. technol. and new mater. (problems and solutions)*. 2015. - No. 4. - P. 243- 251. (in Russ).
- [11] Paklinov N.M., Baryshnikov A.A., Vedmensky A.M. Vozdeystviye na neftesoderzhashchiy plast fizicheskimi polyami s tsel'yu uvelicheniya nefteotdachi [Impact on the oil-containing reservoir by physical fields in order to increase oil recovery]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya=Modern problems of science and eucadtion*. 2015.-№2-2; (in Russ).
- [12] Hua Q., Tan D., Chen L., Tian S., Hu Y. Ultrasonic irradiation reduces Shengli heavy oil viscosity. *Oil Gas J.* 2017, 115, 46–49. (in Eng).
- [13] V. N. Verezhnikov, I. I. Germasheva, M. Yu. Krysin. Kolloidnaya khimiya poverkhnostno-aktivnyye veshchestva [Colloidal chemistry of surfactants]. *Uchebnoye posobiye=a textbook*. St. Petersburg: Doe. 2015. - 304 p. (in Russ).
- [14] Speight J.G. Introduction to Enhanced Recovery Methods for Heavy Oil and Tar Sands. Elsevier; Laramie, WY, USA: 2016. Nonthermal methods of recovery; pp. 353-403. (in Eng).
- [15] Prachkin V.G. Intensifikatsiya dobychi nefti kombinirovannym metodom na ul'trazvukovom vozdeystvii [Stimulation of oil production by a combined method based on ultrasonic exposure]. *Razrabotka i Eksploatatsiya NGM. Ufimskiy gosudarstvennyy neftyanoy tekhnicheskoy universitet=Development and Operation of NGM, dissertation, Ufa State Petroleum Technical University, Russia* - P. 148. (in Russ).
- [16] Avvaru, B.; Venkateswaran, N.; Uppara, P.; Iyengar, S. B.; Katti, S.S. Current knowledge and potential applications of cavitation technologies for the petroleum industry. *Ultrason. Sonochem.* 2018, 42, 493-507. (in Eng).
- [17] L.K Altunina, VA Kuvshinov, IV Kuvshinov. Netermicheskiye fiziko-khimicheskiye tekhnologii uvelicheniya nefteotdachi iz zalezhey vysokovyazkikh neftey [Non-thermal physical and chemical technologies for enhancing oil recovery from high-viscosity oil deposits]. *Neft' i gaz=Oil and gas*. 2016. - No. 5 (95). - S. 57–66. (in Russ).
- [18] Moldabayeva G.Zh., Suleimenova R.T., “Scientific and Technical Substantiation of Reducing Oil Viscosity”, *International Journal of Engineering Research and Technology*, (ISSN 0974-3154) 2020, 13 (5), pp. 967-972. (in Eng).
- [19] Moldabayeva G.; Suleimenova R.; Experimental support of field trial on the polymer flooding technology substantiation in the oil field of western Kazakhstan. "Periódico tchê química". Volume 17 - Número 35. 2020, ISSN 2179-0302. pp 963-975. (in Eng).



UDC 669.432.669.046.42

DOI: 10.31643/2021/6445.08



IRSTI 53.37.91

Explanation of the cluster structures melting mechanism and their influence on the molten state's physical and chemical nature

Shaikhova G. S.

Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

Corresponding author email: shaikhova_2011@mail.ru

Received: 30 January 2021
Peer reviewed: 25 February 2021
Accepted: 05 March 2021

ABSTRACT

There are results of the melts of semimetals and semiconductors of various structural groups research in the article. On the example of simplified regular Bethe lattice one can model destruction and aggregation of structures in clusters and on it's basis to substantiate the metal melts properties in the form of nanolayers. The variety of compressibility polytherms forms in electronic melts requires typing, since their analysis makes it possible to explain the mechanism of the aggregation and dissolution processes of extended objects in melts. The article contains formulas that allow explaining the mechanism of the dissolution of cluster structures and their influence on the physicochemical nature of the molten state. There is considered the process of cluster fragmentation. Larger fragments of clusters are formed in the process of crushing, and this fact leads to the compressibility that decreases more rapidly, only after passing through the extremum it begins to increase due to the thermal loosening. The study of the function's compressibility for an extremum in the compressibility's temperature dependence also indicates the changing process of the clusters decomposition mechanisms in melts with an increase in temperature and vice versa to aggregation with a decrease in the melt temperature to the melting temperature.

Keywords: pair potentials, radial distribution of atoms, semiconductor, structural factor atoms, molecular dynamics, density function, cluster structure.

Information about author:

Shaikhova Gulnazira Serikovna

Candidate of Technical sciences, acting associate professor, Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan. E-mail: shaikhova_2011@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-2036-3023.

Introduction

The article is devoted to an important problem in the development of the theory of the liquid state, which allows to create new technological processes of metal production and improve existing processes. In a cluster solution, the forces of interaction between monomers and clusters are assumed to be pure van der Waals forces. Simultaneously obtained the ratios required for the calculation of the wave function and the radial distribution function of the electron, the knowledge of which allows to calculate the free energy.

Model formulas of interatomic potentials can be used to calculate the physical properties of liquid metals: energy, pressure, equation of state, surface tension, viscosity and other parameters.

The presence of clusters not only near the crystallization temperature, but also at very high temperatures, in alloys of semi-metals and

semiconductors is due to the presence of two types of chemical bonds - covalent and metallic [1-12].

The type of covalent bond that exists and predominates in a crystal, it cannot disappear immediately after melting or further heating when it is in a liquid state. These bonds are embedded in the nature of the atoms that make up semi-metals and semiconductors, in the outer electron shell of atoms, and cannot be lost in any aggregate state of matter. The problem is only in the degree of their clarity. If these bonds are accompanied by bonds that differ greatly in energy, then they are significantly defined, for example, molecular liquids. If these bonds are not immersed in the matrix of other types of bonds that do not differ much in energy from them, then their individuality is close in energy, but differs in the nature of bonds, for example, metal bonds are leveled on a leveling background. Thus, the cluster model of a two-structure melt (model of a mixture of cluster and atomic components), which is different in

nature, but close in strength (energy), characterizes the possibility of equilibrium of two types of chemical bonds (covalent and metallic), ie thermodynamic aspect and two mechanisms of thermal decomposition of clusters (kinetic aspect), semi-metals and semiconductors in alloys allow to qualitatively correctly explain the main types of experimental and theoretical polytherms of compressibility.

The diversity of types of compressible polytherms in electronic alloys requires typification, otherwise their analysis allows to explain the mechanism of dissolution and aggregation of elongated objects in alloys.

Experimental research

From the point of view of the basic principles of thermodynamics we consider the modulus of isothermal elasticity [1, 6, 7]:

$$k = \frac{1}{\beta} = -V \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_T \quad (1)$$

Consider the following:

$$dQ = dU + PdV, \quad (2)$$

When $dQ = 0$, also:

$$\frac{dP}{dV} = - \frac{d^2U}{dV^2},$$

We get the following:

$$k = V \frac{d^2U}{dV^2}.$$

By volume, the energy product can be converted to the following type:

$$\frac{dU}{dV} = \frac{dU}{dR} \cdot \frac{dR}{dV}.$$

Then:

$$\left(\frac{d^2U}{dV^2} \right)_{V=V_0} = \frac{d^2U}{dR^2} \left(\frac{dR}{dV} \right)^2.$$

Let $V = \gamma R^3$ be, then,

$$\frac{dR}{dV} = \frac{1}{3\gamma R^2},$$

where γ is the coefficient of proportionality.

Let the pair potential be interpolated with the following function:

$$U(R) = E \cdot f \left[\left(\frac{R_0}{R} \right)^m - \left(\frac{R_0}{R} \right)^n \right]. \quad (3)$$

Differentiating this function by R and putting it in formula (1), we obtain the following ratio for the modulus of elasticity k :

$$k = \frac{a}{R_0^3} |E|,$$

where a is some constant.

So for compression β_s we can write:

$$\beta = \frac{R_0^3}{a} \left| \frac{1}{E} \right| \quad (4)$$

Equation (4) allows to explain the mechanism of the dissolution process of cluster structures and their effect on the physical and chemical nature of the molten state. Computer modeling of the order β in T -dependence according to the formula (4) leads to the types of adiabatic compression polytherms, shown in Figure 1 (where $E \sim T$ is taken into account).

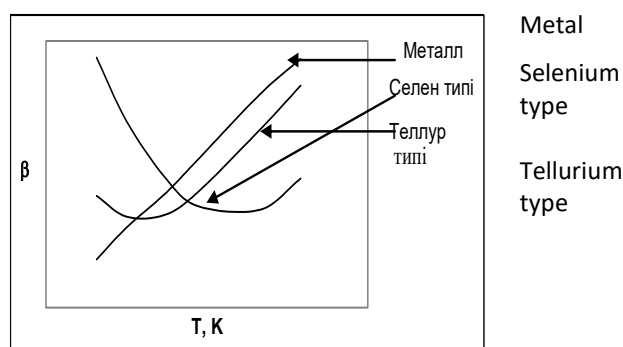


Figure 1 - Compressive polytherms

On the other hand, the matrix-cluster fluid is mentally divided into a separate matrix, ie a homogeneous atomic metallic fluid and a cluster, ie a liquid consisting only of clusters, as shown in Figure 1.

Such a division is possible only mentally, because the clusters can only be in the medium of the matrix fluid, and any attempt to separate them precisely can lead to the cessation of clusters. But mentally divide and pour into separate containers: for the first matrix liquid; for the second cluster fluid. Suppose that the compressibility of the matrix fluid in the first vessel is equal to β_1 , the compressibility of the cluster liquid in the second vessel is equal to β_2 . Further, assume that all clusters in the second disk are the same size and each has N atom. If $N = 1$, then we cannot distinguish between the contents of the second and first vessels, and $\beta_2 = \beta_1$. This is the first extreme case.

Thus, it is possible to type β_s polytherms according to the type of structural changes in the melt.

In the absence of structural changes during the heating of the condensed body, the interatomic distances increase with temperature. Therefore, the value of β_s increases with temperature, hence, the compressive polymer for liquid metals increases with temperature from thermal loosening. Such polymers are classified as polymers by type of metal.

Typification of compression polytherms of semi-metals and semiconductors in alloys requires the identification of the underlying sign. Such a sign may be the nature of the structural changes of clusters - the mechanism of their thermal decomposition. Suppose that only the clusters dissolve during heating in the "solution". Then, according to the analysis of equation (4), the compression polymer is characterized by a minimum temperature β_s , a curve that decreases uniformly with temperature.

This is especially true of tellurium alloys. Therefore, compressive polytherms are called tellurium-type polytherms. During the process of crushing clusters, the compressibility decreases sharply and begins to increase after extremum, which is characteristic of selenium. Such polytherms can be called selenium-type polytherms. The presence of extremums in the temperature dependence of compressibility also

indicates a change in the mechanisms of melting processes [4, 5, 6].

Research results and discussion

Clusters can exist as individual particles only up to a certain size. As the dimensions increase, their individuality begins to "wash out". If N is very large, in order, then it makes no sense to talk about clusters N_A it is better to say that the whole container is filled with one "supercluster", ie there will be crystallization. And in this case, the contents of the dishes will not be separated again. In fact, the clusters are poured into a homogeneous mass not when $N \sim 10^{23}$, but when the values of N are much smaller. In fact, as clusters increase in size, each atom in them will be surrounded by a larger number of neighboring atoms, and the packing of atoms will become more dense. As a result, the hardness of covalent bonds begins to decrease and will often break with the release of electrons. It can be assumed that there is a finite number of atoms N_w , when the clusters cease to exist and merge into a homogeneous atomic matrix. This is the second extreme case. So, if $N = N_w$ then the liquids in the first and second vessels are in equilibrium, and again $\beta_2 = \beta_1$.

$$\beta = \beta_1 \varphi_1 + \beta_2 \varphi_2 \quad (5)$$

Parts φ_1 and φ_2 of vapor-moving and liquid-moving particles were studied by Professor V. P. Malyshev's theory of disordered states [1, 2, 4]:

$$\varphi_1 = P_{vm} = \exp\left(-\frac{T_b}{T}\right) \quad (6)$$

$$\varphi_2 = P_{lqm} = \exp\left(-\frac{T_m}{T}\right) - \exp\left(-\frac{T_b}{T}\right) \quad (7)$$

Here P_{vm} - is the proportion of vapor-moving particles, P_{lqm} is the proportion of liquid-moving particles. Given (6) and (7), the formula for compressibility can be written as follows:

$$\beta = \beta_1 \exp\left(-\frac{T_b}{T}\right) + \beta_2 \left[\exp\left(-\frac{T_m}{T}\right) - \exp\left(-\frac{T_b}{T}\right) \right] \quad (8)$$

The temperature dependence β_1 is shown in Figure 1. A general description of the order of this function is given in Figure 1. As the temperature of the metal melts, the interatomic distances increase with temperature, ie heat is released. This leads to an increase in adiabatic compressibility with temperature β . The melt is very compressible. Formula (8) can show changes in the nature of structural changes in clusters in alloys and explain the mechanism of their thermal decomposition or aggregation. Assume that the clusters dissolve as the temperature in the cluster solution rises. In this case, according to the analysis of equation (8), the adiabatic compression polymer is characterized by a minimum temperature β and a decreasing curve in temperature. This process is typical of molten tellurium.

Now let's look at the process of cluster fragmentation. When crushed, large clusters of clusters are formed, which leads to a very rapid decrease in compressibility and begins to increase due to the release of heat only after the extremum. The melt is microhomogenized, the same order of

compression polymers is observed for molten selenium. The study of the extremum in the temperature dependence of the function (8) shows the mechanisms of decomposition of clusters in the melt with increasing temperature and, conversely, the transition to aggregation when the melting temperature decreases to T_{bal} .

Conclusion

Thus, concluding that the forces of interaction between monomers and clusters in a cluster solution are pure van der Waals, it can be seen that the energy of their interaction is much less than the energy of formation of clusters themselves. This is because the main part of the deviation from the ideal order of solutions in the cluster solution is explained by the interaction that leads to the formation of clusters. The study of extremum in the temperature dependence of compressibility shows the mechanisms of decomposition of clusters in melts when the temperature rises and, conversely, the transition to aggregation when the temperature melts.

Conflicts of interest. The author states that there is no conflict of interest.

Cite this article as: Shaikhova.G. S. Explanation of the Cluster Structures Melting Mechanism and Their Influence on the Molten State's Physical and Chemical Nature. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu.* 2021. №1(316), pp. 62-68.

<https://doi.org/10.31643/2021/6445.08>

Кластерлік құрылымдарды еріту механизмін түсіндіру және балқытылған күйдің физика-химиялық табиғатына әсер етуі

Шаихова Г. С.

Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қаласы, Қазақстан

Автордың электрондық поштасы: shaikhova_2011@mail.ru

ТҮЙІНДЕМЕ

Кластерлік құрылымдардың еру механизмі және олардың балқытылған күйдің физика-химиялық табиғатына әсер етуін қолдану арқылы металл балқытпалардың құрылымын және геометриялық параметрлерін зерделеу негізінде олардың табиғатын нақтылау зерттеулердің негізгі мақсаты болып табылады. Мақалада әртүрлі құрылымдық топтардың жартылай металл балқытпалары мен жартылай өткізгіштерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Бете торының мысалында кластерлердегі құрылымдардың бұзылуы модельденген және оның негізінде наноқабаттары түріндегі металл балқытпаларының қасиеттері негізделген. Атомдардың орналасуы әр түрлі атомдардың өзара әсерлесу потенциалы арқылы сипатталады, және де тордағы атомдардың тек аз саны ғана қарастырылады. Берілген тұжырымдаманы пайдаланып, квазитер энергиясының орташа мәні есептелген. Электрондық балқытпалардағы сығылғыштық политермалары түрлерінің алуан түрлілігі типтендіруді талап етеді, әтпесе

Мақала келді: 30 қаңтар 2021
Рецензенттен өтті: 25 ақпан 2021
Қабылданды: 05 наурыз 2021

оларды талдау балкытпалардағы созылған объектілердің еру және агрегация процестерінің механизмін түсіндіруге мүмкіндік береді. Мақалада кластерлік құрылымдарды еріту процесінің механизмін және олардың балкытылған күйдің физика-химиялық сипатына әсерін түсіндіруге мүмкіндік беретін формулалар келтірілген. Кластерлерді ұсақтау процесі қарастырылады. Ұсақтау кезінде кластерлердің аса ірі жарқыншақтары түзіледі де, бұл сығылғыштықтың аса жылдам төмендеуіне әкеледі және экстремумнан өткеннен соң ғана жылумен босатылатындықтан ұлғая бастайды. Сығылғыштықтың температуралық тәуелділігінде экстремумға зерттеу температура жоғарылағанда балкытпалардағы кластерлердің ыдырау механизмдерінің және керісінше балку температурасына дейін төмендегенде агрегацияға ауысу процесін көрсетеді. Жұмыстың практикалық маңыздылығы түсті және кара металлургияда қолданылатын технологияларды әзірлеу үшін ғылыми негізделген алғышарттарды құру, термодинамикалық модельді жасауға және балкытылған күйдің химиялық активтілігін болжауды дамытуға көмектесуі болып табылады.

Түйін сөздер: жұптық потенциалдар, атомдардың үлестірім функциясы, жартылай өткізгіштік, функционал тығыздығы, атомдар, молекулалық динамика, кластерлік құрылым.

Шаихова Гүлназира Серікқызы

Автор туралы ақпарат:

Техника ғылымдарының кандидаты, Қарағанды техникалық университетінің доценті м.а. Қарағанды қаласы, Қазақстан. Email: shaikhova_2011@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2036-3023>

Разъяснение механизма растворения кластерных структур и влияние их на физико-химическую природу расплавленного состояния

Шаихова Г. С.

Карагандинский технический университет, г. Караганда, Казахстан

Электронная почта автора: shaikhova_2011@mail.ru

Статья поступила: 30 января 2021

Рецензирование: 25 января 2021

Принята в печать: 05 марта 2021

АННОТАЦИЯ

Основной целью исследования является уточнение природы на основе изучения структуры и геометрических параметров металлических расплавов с использованием механизма плавления кластерных структур и их влияния на физико-химическую природу расплавленного состояния. В статье приводятся результаты исследования расплавов полуметаллов и полупроводников различных структурных групп. На примере упрощенной регулярной решетки Бете можно моделировать разрушение и агрегацию структур в кластерах и на ее основе обосновать свойства расплавов металлов в виде нанослоев. Расположение атомов описывается через потенциал взаимодействия различных атомов, причем рассматривается лишь малое число атомов в решетке. Используя данную концепцию вычисляем среднее значение энергии квазиторы. Разнообразие форм политерма сжимаемости в электронных расплавах требует типизации, так как их анализ позволяет разъяснить механизм процессов агрегации и растворения протяженных объектов в расплавах. В статье приведены формулы, которые позволяют разъяснить механизм процесса растворения кластерных структур и влияние их на физико-химическую природу расплавленного состояния. Рассматривается процесс дробления кластеров. При дроблении образуются более крупные осколки кластеров и это приводит к тому, что сжимаемость падает более быстро и только после прохождения экстремума начинает возрастать из-за тепловые разрыхления. Исследование функции сжимаемости на экстремум в температурной зависимости сжимаемости указывает также на процесс смены механизмов распада кластеров в расплавах при возрастании температуры и наоборот к агрегации при понижении температуры плавления. Практическая значимость работы заключается в создании научно обоснованных предпосылок для разработки технологии в цветной и черной металлургии, содействии разработке термодинамической модели и развитию прогнозирования химической активности расплавленного состояния.

Ключевые слова: парные потенциалы, радиальные распределения атомов, полупроводник, функционал плотности, структурный фактор, атомы, молекулярная динамика, кластерная структура.

Шаихова Гүлназира Сериковна

Информация об авторе:

Кандидат технических наук, и.о. доцента, Карагандинский технический университет, Казахстан. E-mail: shaikhova_2011@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-2036-3023.

Литература

- [1] Малышев В.П., Нурмаганбетова А.М., Бектурганов Н.С., Сулейменов Т., Абдрахманов Б.Т. Вероятность образования кластеров в жидких металлах по концепции хаотизированных частиц // *Комплексное использование минерального сырья*. -2010.-№6(237). С. 38-47. <https://doi.org/10.31643/2018/166445>
- [2] Kenzhaliyev B. K., Surkova T. Yu., Yessimova D. M. Concentration of rare-earth elements by sorption from sulphate solutions // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a (Complex Use of Mineral Resources)*. – 2019. – №3 (310). Pp.: 5-9. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.22>
- [3] Issagulov A. Z., Belomestny D., Shaikhova G. S., Zhurov V. V., Kasymova L. Zh., Zhetimekova G. Zh. / Functions of atoms radial distribution and pair potential of some semiconductors melts // *Bulletin The National Academy Of Sciences Of The Republic Of Kazakhstan*. July – August 2019. Almaty, NAS RK.№4. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-1467.86>
- [4] Kazhikenova S.Sh., Ramazanov M.I., Khairkulova A.A., Shaikhova G.S. Approximation of the temperatures model of inhomogeneous melts with allowance for energy dissipation. Math series. *Bulletin of the Karaganda University*. - 2018.- Vol.90, №2 - P.297-299. <https://doi.org/10.31489/2018m2/93-100>
- [5] Suleimenov N.V, Shapalov Sh. K, Khodzhaev R.R, Shaikhova G.S, .. Computerized Analytical System for Assessing Fire and Environmental Safety of Mines in the Karaganla Coal Basin *International Journal of Engineering Research and Technology*, Volume 13, Number 6 (2020), pp. 1133-1136 https://up.ksu.kz/phtj/2020_17_1_33/22.pdf
- [6] Suleimenov T., Bekturganov N. S., Isagulov A. Z., Shaikhova A. M., Kasymova G. S. On the nekotor aspects of computer modeling in the theory of raslavov. *Republican scientific journal "Technology of metal and other materials"*, 2008, № 2 (13). S. 161-164.
- [7] Malyshev, V.P., Kazhikenova, S.S. & Turdukozhaeva, A.M. A qualitative and quantitative evaluation of the technological processes in the metallurgy of non-ferrous metals. *Russ. J. Non-ferrous Metals* 50, 335–337 (2009). <https://doi.org/10.3103/S106782120904004X>
- [8] Issagulov A. S., Kazhikenova S. Sh., Shaikhova G. S., Mahmetova G. Sh., Kassymova L. G. Evaluation of pressure and volumetric modules in melted systems // *Chemistry series. Bulletin of the Karaganda University*.- 2018. Vol.90, №2. -P.51-57.
- [9] Şaihova G. S., Qasymova L.J., Mahmetova G. Ş. Zattyñ balqytylğan küiiniñ dinamikalyq qasietteri turaly // *Universitet erjebekteri, Qarağandy*.- 2018.- №1.- С. 36-40.
- [10] Адылбеков Н. А, Шайхова Г. С, Жиров В. В, Шеребаева Г. Е. Численное решение одной системы интегральных уравнений фредгольма третьего рода в задаче об опорном давлении вблизи очистной выработки // *Новости науки Казахстана*.- 2019.- № 3,-С.98-103.
- [11] Malyshev V.P., Makasheva A.M., Bekturganov N.S. Viscosity, fluidity and density of substances. Aspect of Chaotization. – Lambert: Academic Publishing (Germany), 2013. – 340 p.
- [12] Макашева А. М. Кластерно-ассоциатная модель вязкости и методы определения ее параметров // *Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo syrâ = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*.-2020. №2 (313). С. 27-37. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.14>

Reference

- [1] Malyshev V. P., Nurmaganbetova a.m., Bekturganov N. S., Suleimenov T., Abdrakhmanov B. T. Veroyatnost' obrazovaniya klasterov v zhidkikh metallakh po kontseptsii khaotizirovannykh chastits [Probability of Formation of Clusters in Liquid Metals according to the Concept of Chaotic Particles] // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources*. -2010.-№6 (237). pp.38-47. (In Rus.). <https://doi.org/10.31643/2018/166445>
- [2] Kenzhaliyev B. K., Surkova T. Yu., Yessimova D. M. Concentration of rare-earth elements by sorption from sulphate solutions // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a (Complex Use of Mineral Resources)*. – 2019. – №3 (310). Pp.: 5-9. (In Rus.). <https://doi.org/10.31643/2019/6445.22>
- [3] Issagulov A. Z., Belomestny D., Shaikhova G. S., Zhurov V. V., Kasymova L. Zh., Zhetimekova G. Zh. / Functions of atoms radial distribution and pair potential of some semiconductors melts // *Bulletin The National Academy of Sciences Of The Republic Of Kazakhstan*. July – August 2019. Almaty, NAS RK. №4. (In Eng.). <https://doi.org/10.32014/2019.2518-1467.86>
- [4] Kazhikenova S.Sh., Ramazanov M.I., Khairkulova A.A., Shaikhova G.S. Approximation of the temperatures model of inhomogeneous melts with allowance for energy dissipation. Math series. *Bulletin of the Karaganda University*. - 2018.- Vol.90, №2 - P.297-299. (In Eng.). <https://doi.org/10.31489/2018m2/93-100>
- [5] Suleimenov N. V, Shapalov Sh. K, Khodzhaev R. R, Shaikhova G. S. Computerized Analytical System for Assessing Fire and Environmental Safety of Mines in the Karaganla Coal Basin *International Journal of Engineering Research and Technology*, Volume 13, Number 6 (2020), pp. 1133-1136. (In Eng.). https://up.ksu.kz/phtj/2020_17_1_33/22.pdf

- [6] Suleimenov T., Bekturganov N. S., Isagulov A. Z., Shaikhova A. M., Kasymova G. S. On the nekotor aspects of computer modeling in the theory of raslavov. Republican scientific journal "Technology of metal and other materials", 2008, № 2 (13). S. 161-164. (In Eng.).
- [7] Malyshev, V.P., Kazhikenova, S.S. & Turdukozhaeva, A.M. A qualitative and quantitative evaluation of the technological processes in the metallurgy of non-ferrous metals. Russ. J. Non-ferrous Metals 50, 335–337 (2009). (In Eng.). <https://doi.org/10.3103/S106782120904004X>
- [8] Issagulov A. S., Kazhikenova S. Sh., Shaikhova G. S., Mahmetova G. Sh., Kassymova L. G. Evaluation of pressure and volumetric modules in melted systems // Chemistry series. Bulletin of the Karaganda University.- 2018. Vol.90, №2. -P.51-57. (In Eng.).
- [9] Shaikhova G. S., Mahmetova G. Sh., Kasymova L. G. Zattyñ balqytylğan küiiniñ dinamikalıq qasietteri turaly [On the dynamic properties of the molten state of a substance]. Work of the University, Karaganda. 2018. 1, 36-40. (in Kaz.).
- [10] AdilbekovN.A, ShaikhovaG.S, ZhurovV.V, Shegebayeva G.E. Chislennoye resheniye odnoy sistemy integralnykh uravneniy fredgolma tret'yego roda v zadache ob opornom davlenii vblizi ochistnoy vyrabotki [Numerical solution of one system of Fredholm integral equations of the third kind in the problem of the reference pressure near a longwall]. Novosti nauki Kazakhstana. 2019. 3, 98-103 (in Russ.).
- [11] Malyshev V.P., Makasheva A.M., Bekturganov N.S. Viscosity, fluidity and density of substances. Aspect of Chaotization. – Lambert: Academic Publishing (Germany), 2013. – 340 p. (In Eng.).
- [12] Makasheva A. M. Klasterno-assotsiatnaya model' vyazkosti i metody opredeleniya yeye parametrov [Clusterassociated viscosity model and methods for determining its parameters] // Kompleksnoe Ispolzovanie Mineralnogo syrâ/ Complex Use of Mineral Resources/Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu. -2020. №2 (313). p.27-37. (In Rus.). <https://doi.org/10.31643/2020/6445.14>



УДК 544.7

DOI: 10.31643/2021/6445.09



МРПТИ 31.15.37

Current state of the problem of soil protection and prospect of using humic acids

Bekturganova N. Ye.

International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

Coreesponding author email: bektur_n@mail.ru

Received: 12 February 2021
Peer reviewed: 16 February 2021
Accepted: 05 March 2021

ABSTRACT

The article reviews the literature on the state of the problem of protecting the soil cover of the earth. Today, during the period of strong pollution of the lithosphere by technogenic wastes of various nature, leading to soil degradation and erosion, in measures to improve the physical, chemical, hydrological, agronomic and other properties of soils, preference should be given to the least harmless natural raw materials. These include humic acids (HA) and their derivatives, which are good adsorbents, stabilizers and fixers of dispersed systems. The study of the composition of humic acids with various water-soluble polymers and surfactants is another not fully understood area of interdisciplinary nature. Literary search for the works of Kazakh scientists shows the underdevelopment of both the extraction of humic acids and the formation of HA interpolymer complexes (IPC) with polymers and surfactants, as well as their use as fixers, structure formers of soils subject to wind and water erosion. Having large reserves of coal in the republic, a source of humic acids, it is not forgivable not to develop an integrated approach to research on the extraction of HAs, the formation of IPC on their basis and the use of new structure-forming agents to improve the degraded soils of the republic's structures.

Keywords: soil, structure formation, dispersed system, soil erosion, humic acid, interpolymer complex.

**Bekturganova Neila
Yessenkeldieвна**

Information about author:

Candidate of chemical science, associate professor, Director of the Center of science and undergraduate education, IEC, Almaty, Kazakhstan. <https://orcid.org/0000-0003-3062-3340>, Email: bektur_n@mail.ru

Современное состояние проблемы охраны почвы и перспектива применения гуминовых кислот

Бектурганова Н. Е.

Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

Электронная почта автора: bektur_n@mail.ru

Статья поступила: 12 февраля 2021
Рецензирование: 16 февраля 2021
Принята в печать: 05 марта 2021

АННОТАЦИЯ

В статье проведен обзор литературы по состоянию проблемы охраны почвенного покрова земли. На сегодняшний день, в период сильного загрязнения литосферы техногенными отходами различной природы, приводящие к деградации и эрозии почв, в мероприятиях по улучшению физических, химических, гидрологических, агрономических и др. свойств почв предпочтение необходимо отдавать наименее безвредному природному сырью. К таковым можно отнести гуминовые кислоты (ГК) и их производные, являющиеся хорошими адсорбентами, стабилизаторами и закрепителями дисперсных систем. Изучение композиции гуминовых кислот с различными водорастворимыми полимерами и поверхностно-активными веществами – это еще одна не до конца изученная область междисциплинарного характера. Литературный поиск трудов казахстанских ученых показывает о неразвитости направлений как извлечения гуминовых кислот, так и формирования ГК интерполимерных комплексов (ИПК) с полимерами и ПАВ, а также применения их в качестве закрепителей, структурообразователей почв, подверженных ветровой и водной эрозии. Имея большие запасы угля в республике, источника гуминовых кислот, не простительно не развивать комплексный подход к исследованиям по извлечению ГК, формирования ИПК на их основе и применения новых структурообразователей для улучшения деградированных почв структур республики.

Ключевые слова: почва, структурообразование, дисперсная система, эрозия почв, гуминовая кислота, интерполимерный комплекс.

**Бектурганова Нэйла
Есенкельдиевна**

Информация об авторе:

кандидат химических наук, ассоциированный профессор, директор Центра науки и послевузовского образования Международной образовательной корпорации. г Алматы, Казахстан. <https://orcid.org/0000-0003-3062-3340>. Email: bektur_n@mail.ru

На сегодняшний день проблема охраны окружающей среды, в частности, защита почвенного покрова Земли, остается все еще актуальной. В этом отношении эрозия почв является наиболее серьезным предвестником деградации почв, которая имеет глобальные последствия. К числу особо опасных последствий можно отнести снижение продуктивности почвы, опустынивание земель, загрязнение водоемов и их заиление, затопление, загрязнение воздуха пылью, а также колоссальный ущерб инфраструктуре [1-7]. Известно также, что ежегодно миллионы гектаров пахотных земель теряются вследствие деградации почв.

Инициатором эрозии почв, помимо климатических явлений и особенностей расположения территорий, зачастую являются низкая культура земледелия и слабые сельскохозяйственные знания товаропроизводителей. Тяжелая сельскохозяйственная техника также может "уплотнять" почву, что заставляет воду стекать прямо с поверхности после дождя, забирая с собой ценные частицы почвы, вместо того чтобы проникать в почву.

К тому же быстрый рост населения земного шара приводит к увеличению масштабов обработки земли. Это оказывает большее давление на землю и приводит к потере структурированности почвы, снижает сцепление ее частиц, способствуя легкому разрушению. Верхний слой почвы, который богат органическим веществом, высоким плодородием, перемещается в другое место, где он накапливается с течением времени, или переносится "за пределы участка", заполняя дренажные каналы. Только в США общая площадь земель, подвергшихся антропогенной деградации почв, оценивается примерно в 2 миллиарда гектаров [8]. Не лучше обстоит дело и у нас, в Казахстане. Согласно [9] проблема деградации почвы приняла критические масштабы после развала СССР и ликвидации колхозов. Дробление их на мелкие частные хозяйства привело к тому, что село оказалось без создававшейся десятилетиями инфраструктуры, квалифицированных кадров, средств на развитие. За годы независимости посевные площади, занятые под сельскохозяйственные культуры и в 1990 году составлявшие 35,2 млн га, сократились почти на 40% (особенно – более чем на 70% – пострадали площади под кормовыми культурами). Потеряла плодородие десятая часть поливных земель страны, почти 18 млн га пашни

подвергаются ветровой и водной эрозии, деградировало до 60% пастбищ. Только от разработки недр пострадало 181,3 тыс. гектаров. По данным доклада Программы развития ООН «Стратегические меры по борьбе с опустыниванием в Республике Казахстан до 2025 года», общие ежегодные экономические потери из-за деградации земель в стране оцениваются в 93 млрд тенге.

Процессы эрозии почв во многих районах Казахстана причиняют существенный ущерб народному хозяйству и экологии в целом. На сегодняшний день, около 75 % территории страны подвержены повышенному риску экологической дестабилизации, из них 1/3 приходится на Алматинскую область. Наряду с нерациональным использованием земельных ресурсов проблему усугубляет внутриконтинентальное положение страны, создавая сухой климат, скудность и неравномерность распределения водных ресурсов, широкое распространение песков, солонцеватых и засоленных земель.

В поисках решения проблемы предпринимаются различные мероприятия республиканского, регионального и международного масштабов. К примеру, Правительственная программа по борьбе с опустыниванием в РК на 2005-2015 годы, программа «Жасыл даму» на 2010-2014 годы; проводятся различные форумы, конференции, посвященные вопросам сохранения биоразнообразия, деградации земель и изменения климата; привлекаются донорские финансовые средства международных организации (из выступления вице министра экологии, геологии и природных ресурсов РК Е.Нысанбаева: за 15 лет реализованы более 30 проектов на сумму 52 млн. долларов). Но, несмотря на это, с каждым годом площадь деградированных земель растет, надолго выходя из хозяйственного оборота. На этом фоне имеющиеся положительные результаты – просто капля в море, поскольку возвращение земель в прежнее состояние требует совсем иных расходов и комплексного решения существующих уже десятилетиями проблем. О переломе в борьбе с процессом деградации земель ни на национальном, ни на региональном уровнях говорить пока не приходится [9].

Из вышесказанного следует, что эрозия почв является важной социально –экономической

проблемой и существенным фактором оценки состояния и функционирования экосистем.

Необходимость охраны почвы вызвано тем, что почва является самым фундаментальным и основным природным ресурсом для выживания всего живого. Водная и ветровая эрозия - это два основных фактора деградации почв. Сток смывает частицы почвы с наклонных и голых земель, в то время как ветер сдувает рыхлые и оторванные частицы почвы с плоских и незащищенных земель. Да, почва является самовосстанавливающейся системой, однако, для восстановления поврежденного слоя толщиной 2,5см потребуется более 300 лет [10-11].

Хорошо известно, что основными способами предупреждения и предотвращения эрозии почв являются севообороты и кормовые культуры [12-15].

Во многих технологиях защитного земледелия важную роль играют кормовые культуры. Тем более, что они могут быть оптимальным вариантом для бедных почв или крутых склонов, непригодных для других культур. Кормовые культуры включают в севооборот с целью повышения содержания органического вещества в почве и противодействия распространению болезней. Кормовые культуры защищают почву от эрозии: волокнистые корни сдерживают ее. Как многолетние кормовые культуры, так и кормовые культуры в качестве сидератов обогащают почву органическим веществом и улучшают качество и структуру почвы. В странах СНГ зачастую в противоэрозионный севооборот включают кормовые, зерновые, масличные и бобовые. Например, многолетние травы или люцерна чередуются с пропашными культурами. В Канаде в стерню кормовых сеют ячмень, овес и горох после десикации кормовых, обычно – глифосатом. В США практикуют полосное чередование посевов поперек склона [12]. Но такие меры применимы на определенных участках и типах почв. Для борьбы с эрозией почв необходим комплекс мер: землеустроительных, агротехнических, лесомелиоративных и гидротехнических. Но, нужно сказать, что гидротехнические мероприятия останавливают развитие эрозии на определенном участке сразу же после их устройства, агротехнические — через несколько лет, а лесомелиоративные — через 10—20 лет после их внедрения [13]. Поэтому для решения этой задачи наряду с усилением мелиоративных работ, необходимо расширение

мероприятий по борьбе с водной и ветровой эрозией почвы, включая использование химических реагентов.

Стоит отметить, что химические методы борьбы с эрозией являются как класс нетрадиционных мер по охране почв. История показывает, что применение синтетических полимеров в мелиорации почв начали применять с середины XX столетия. Изначально водорастворимые высокомолекулярные соединения применяли в качестве флокулянтов для осаждения и фильтрации шлама фосфоритов в технологии обработки урановых руд и прочностных добавок для бумаги, а в дальнейшем стали широко использовать в сельском хозяйстве и медицине в качестве флокулянтов, загустителей, в строительной индустрии в качестве адгезивов, смазок, структурообразователей и в других отраслях промышленности [16-18]. Исследования показывают, что наибольшее распространение в качестве структурообразователя почв нашел полиакриламид, являющийся перспективной добавкой для сохранения почвенной структуры [19-23]. Полиакриламид все еще остается привлекательным для борьбы с эрозией [24]. Его можно использовать при орошении по бороздам, результат - снижение эрозии и сток с одновременным улучшением качества почвы и воды. В неорошаемом земледелии и дождевании полиакриламид используется для уменьшения поверхностного уплотнения и образования корки. Зачастую его используют для стабилизации крутых склонов при строительстве, выемках на автомагистралях и других нарушенных почвах.

Полиакриламид очень рентабелен в системах орошения по бороздам, где его можно вносить с небольшими расходами с поливной водой. Как кондиционер почвы ПА - еще один инструмент, который можно использовать для управления почвенными ресурсами. К примеру, в Каракалпакистане [25] исследованы свойства новых полиэлектролитов на основе акриламида и малеиновой кислоты на засоленные почвы региона. Авторами установлено, что природа и количественный состав активных функциональных групп, определяющих коллоидные и химические свойства полиэлектролитов, существенно зависят от условий синтеза сополимеров и степени гидролиза. Выявлены общие и специфические закономерности структурирующего действия полученного полиэлектролита на структуру

менее засоленных почвенных дисперсий. Экспериментальные данные показали, что между вязкостью растворов полиэлектролитов и их структурообразующего действия на почву наблюдается симбиотическая зависимость [25]. Эти исследования еще раз подтверждают, что применение полиакриламида имеет свою область приложения как структурообразователя, как, например, пологие склоны и некоторые типы почв. Однако на почвах с плохой текстурой, щелочных почвах действие полиакриламида неэффективно, что говорит о востребованности поиска новых безопасных структурообразователей почв.

Оструктурирование почвы высокомолекулярными водорастворимыми веществами (искусственное оструктурирование) является одним из эффективных приёмов улучшения агрофизических свойств почвы. В качестве искусственных структурообразователей почв часто используют водные растворы олигомеров, полимеров и полимерных комплексов. Такой прием защиты и улучшения физико-химических свойств почвы позволяет существенно повысить количество водопрочных агрегатов, а также способствует более продуктивному использованию сельскохозяйственными культурами запасов почвенной влаги. Помимо этого, искусственное оструктурирование позволяет устранить структурный дефицит, увеличить усвояемость подвижных форм азота и их мобилизацию. Таким образом, внесение полимеров в почву приводит к существенным изменениям физических свойств почв: в зависимости от концентрации вносимого структурообразователя меняется содержание глыбистых фракций, агрономически ценных агрегатов, коэффициента структурности, количество водопрочных агрегатов, пористость, водопроницаемость и т.д. Здесь очень важно не ошибиться с выбором структурирующего агента, ведь действие полимерных структурообразователей сохраняется в течении ряда лет [26-28].

Известны многочисленные работы по применению не только промышленно выпускаемых полимерных веществ в качестве структурообразователя, но, и новых синтезируемых интерполимерных композиции, содержащих в своей макромолекулярной цепи карбонильные, амидные, гидроксильные и др. полярные группы [29-33]. Интерполимерные комплексы - продукты реакции

взаимодействия химически комплементарных макромолекул. Благодаря таким свойствам как нерастворимость в большинстве обычных органических и неорганических растворителях, пластифицируемость водой и электролитами, антикоагуляционные свойства ИПК нашли достаточно широкое применение в различных отраслях народного хозяйства в качестве высокоэффективных флокулянтов, стабилизаторов дисперсий и т.п. В работе [29] изучено структурообразующее действие интерполимерного комплекса биополимеров -катионного полиэлектролита хитозан и анионного полиэлектролита натрий-карбоксиметилцеллюлозы. Обработка городской почвы данным интерполимерным комплексом приводила к агрегации почвенных частиц и повышению водопроницаемости почвы. Авторы установили, что в соотношении компонентов ИПК [CTS]:[Na-CMC] = 30: 70 повышается механическая прочность структурированных образцов почвы и улучшилась водопроницаемость почвы. Эти факты демонстрируют агрегацию почвенных частиц и формирование крупнопористой структуры почвы, повышающую устойчивость почвы к водной и ветровой эрозии и позволяющую создать хороший запас воды в корневой зоне.

Применение интерполимерного комплекса карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) и мочевино-формальдегидной смолы (МФС) в сельском и водном хозяйстве показало как технологическую, так и экономическую пользу их использования для решения целого ряда агрофизических задач и вопросов мелиорации [34-36]. По результатам исследований авторами установлено, что при поливах хлопчатника через противofильтрационный экран из ИПК, созданный на поверхности почвы, глубинная фильтрация воды ниже расчетного слоя, уменьшается на 35-40 % от поливных норм.

Российскими учеными доказано, что нанесение компонентов ИПК существенно влияет на его формирование и последующее защитное противозерозионное действие [37]. Вариант 1. - рабочий раствор может быть получен смешением, поликатиона, полианиона и

низкомолекулярного электролита с концентрацией полимеров 2-4%. Интерполимерный комплекс наносится на поверхность в количестве 1-1,5 л/м² и низкомолекулярного электролита удаляется из системы под действием атмосферных осадков. В результате на поверхности образуется водонерастворимый почвенно-полимерный защитный структурированный слой толщиной 3-5 мм. При этом, содержание полимера в поверхностном корочном слое составляет 1,2-3,0 масс %. Вариант 2, заключающийся в последовательном нанесении двух водных растворов противоположно заряженных полиэлектролитов (в эквивольном соотношении). ИПК образуется в момент нанесения второго раствора на поверхность, предварительно пропитанную первым раствором. При таком способе не удается равномерно нанести оба полимерных компонента и, соответственно, регулировать состав ИПК. Формирование интерполиэлектролитного комплекса происходит непосредственно в поверхностном слое почвы. Результат – устойчивый защитный-полимерный корочный воздуховлажнопроницаемый слой толщиной 1-5мм с содержанием полимера 0,5-2,5 масс %.

В диссертационной работе [38] также подробно описаны способы нанесения компонентов интерполимерных комплексов при структурировании эрозионноопасной почвы Азгирского полигона. Установлено, что при обрызгивании предварительно подготовленного ИПК на поверхность модели образца почвы, разделенным нанесением компонентов, а также последовательным нанесением с боронованием существенной разницы в закреплении поверхностного слоя образца почвы не наблюдалось. Интенсивность дефляции, рассчитанная по смоделированной на аэродинамической трубе ветровой эрозии со скоростью ветра 21м/с составил 0,4-0,23 % для ИПК метилцеллюлоза-полиэтиленмин, 0,03-0,59% для унифлок (УФ)-полидиметилдиаллиламмоний хлорид (ПДМДААХ), 1,06-1,76% для УФ-ПЭИ, NaKMЦ-ПЭМ 1,69-2,6%, NaKMЦ-ПДМДААХ 0,86-1,1%. Но, по сравнению с нанесением отдельными компонентами закрепляющее действие интерполимерных комплексов оказалось выигрышным за счет формирования новообразований при закреплении почвогрунта. В основе такого процесса лежит химическая адсорбция комплекса на поверхности

элементарных минеральных частиц, в результате чего на них возникает тончайшая, но достаточно прочная полимерная пленка, образующаяся на счет ионообменного процесса между поглощающим комплексом почвы и группами ИПК, способных к реакции ионного обмена. Но, тем не менее, нельзя исключать действие гидрофильного ассоциата, суть которого сводится к электростатическим взаимодействиям как с поверхностью почвы, так и проникновением во внутрь полидисперсной системы и связыванием почвенных коллоидов гидрофобными взаимодействиями и водородными связями. Результаты исследований подтверждены патентом Республики Казахстан [39].

На сегодняшний день в оструктурировании эродированных почв интерес ученых привлекает применение гуминовых кислот (ГК) и их производных [40-42]. Как известно, гуминовые кислоты — сложная смесь высокомолекулярных природных органических соединений, образующихся при разложении отмерших растений и их последующей гумификации (биохимического превращения продуктов разложения органических остатков в гумус при участии микроорганизмов, воды и кислорода) [википедия]. В отличие от синтеза в живом организме, образование гуминовых веществ не направляется генетическим кодом, а идет по принципу естественного отбора — остаются самые устойчивые к биоразложению структуры. В результате получается стохастическая, вероятностная смесь молекул, в которой ни одно из соединений не тождественно другому. Таким образом, гуминовые вещества — это очень сложная смесь природных соединений, не существующая в живых организмах [43].

Свыше двухсотлетнее изучение гуминовых кислот показало, что фундаментальными свойствами гуминовых веществ являются нестехиометричность состава, нерегулярность строения, гетерогенность структурных элементов и полидисперсность. Это говорит о неприменимости понятия молекулы к ним. Одним словом, это молекулярная композиция, каждый параметр которого отличается от другого. Соответственно, к гуминовым веществам невозможно применить традиционный способ численного описания строения органических соединений — определить количество атомов в молекуле, число и типы связей между ними.

Но, несмотря на кажущийся хаос в строении гуминовых кислот, установлено, что все гуминовые вещества состоят из атомов углерода (52-62%) углерода, кислорода (31-39%), водорода (2,8-5,8%) и азота (1,7-5,1%) (рис.1).

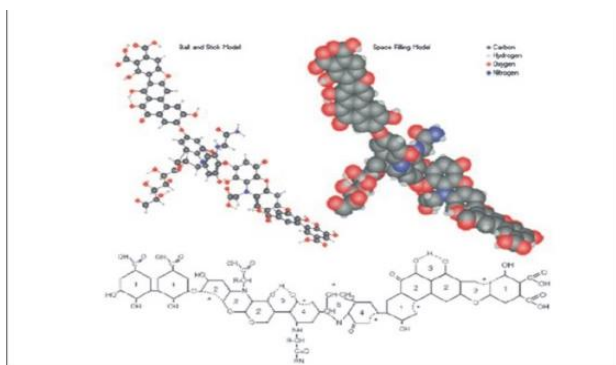


Рис.1. Состав гуминовых кислот [44]

Как видно, диапазон вариаций атомных отношений не столь широк. И, он зависит от происхождения гуминовых кислот. Также немаловажной особенностью ГК, независимо от источника происхождения является наличие единого принципа строения, которая заключается в том, что основным каркасным звеном является ароматический углеродный скелет, замещенный функциональными группами. В качестве заместителей могут быть гидроксильные, карбоксильные, алкильные и др. группы. Периферическую же составляющую формируют полипептидные и полисахаридные фрагменты. Наличие такого широкого спектра различных групп в составе гуминовых кислот относит их к очень сложным природным органическим соединениям, превосходящих даже нефть, уголь и лигнины. Именно вследствие такого сложного состава и структуры они могут вступать в ионные, донорно-акцепторные и гидрофобные взаимодействия. В природе они способны связывать различные классы экотоксикантов, образуя комплексы с металлами и соединения с различными классами органических веществ. Таким образом, гуминовые кислоты выполняют функцию посредников, смягчающих действие загрязнений на живые организмы.

В силу особенностей структуры, разнообразия физических и химических свойств гуминовые кислоты нашли широкое применение в различных сферах жизнедеятельности человека. Еще в XX в. гуминовые вещества нашли применение как модификаторы отрицательных электродов свинцовых аккумуляторов в электрохимической промышленности [45].

Гуматы натрия применяются в качестве стабилизаторов минеральных суспензий при производстве строительных материалов, при бурении скважин на нефть и газ. В частности, в нефтехимии, гуматные реагенты предназначены для общего улучшения буровых растворов, повышения дисперсности и агрессивной устойчивости, снижения водоотдачи. По принципу действия они являются стабилизаторами суспензий, но также выполняют пептизирующие функции. Служат регуляторами вязкости и статического напряжения сдвига глинистых растворов, загустевших от выбуренной породы. К их числу можно отнести вытяжки из бурового угля и торфа, а также продукты их модификации.

В медицине гуминовые кислоты и их производные используются как антисептические вещества [46]. В агропромышленности они являются эффективными стимуляторами роста растений и животных [47-48].

Высокая сорбционная емкость гуминовых кислот по отношению к ионам загрязняющих и рудных элементов, а также изотопных носителей долгоживущих радионуклидов позволяет использовать их в качестве эффективных адсорбентов [49-52]. В работе [52] показаны результаты исследований, в которых на 1 г гуминовых кислот сорбирует 30 мг цезия, 18 мг стронция, 18 мг меди, 60–150 мг свинца, 80 мг хрома, 300 мг ртути, 300–600 мг золота, 85–100 мг палладия. Металлы, удерживаемые гумусом, вместе с ним вовлекаются в процессы дальнейшей биохимической трансформации, способные привести к образованию обогащенных металлами углеродсодержащих пород. Это способствовало активизации исследований процессов образования таких пород.

На основе гуминсодержащего сырья разработаны и предложены новые виды органоминеральных удобрений пролонгированного действия, мелиорантов, которые обеспечивают высокий уровень урожайности, улучшают качество сельскохозяйственной продукции и экологической безопасности.

Как видно, ГК и гуминовые реагенты получили достаточно широкое применение, что обусловлено не только дешевизной и доступностью, но и многофункциональностью их действия.

Почва, богатая гуминовыми веществами характеризуется значительно лучшими

агрохимическими свойствами по сравнению обедненной почвы с истощенной гуминовым слоем. Гуминовый слой ответственен за удержание питательных веществ и их доставку к корням растений. Обедненная гуминовыми веществами земля, по сути, бесплодна, поскольку полезные микроэлементы в ней не задерживаются, а вымываются дождями и подземными водами. При этом нужно отметить, что в вопросах биоремедиации — восстановления изначальных экологических показателей почвы и воды при ликвидации загрязнений — без гуминовых веществ практически невозможно. Их основные функции — сорбция нужных для растений веществ, возобновление многих функций почвы, увеличение всхожести семян и урожайности [53-55].

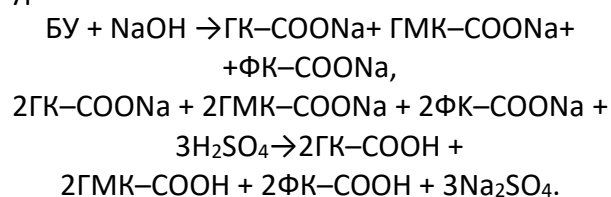
Установлено, что основными источниками гуминовых кислот являются торф, угли, некоторые почв и лигносульфонат (побочный продукт переработки древесины). Международным обществом по изучению гуминовых веществ (IHSS) рекомендовано выделять ГК в атмосфере азота для предотвращения окислительной трансформации молекулярным кислородом в процессе экстракции. В работе [56] проведено сравнение физико-химических свойств препаратов ГК, выделенных из почв 0.1 М NaOH с продувкой азотом и без его использования. Изучали ГК из горизонтов А1 двух контрастных по условиям гумусообразования типов почв: дерново-подзолистой и чернозема, являющихся зональными почвами южной тайги и степи. Полученные результаты свидетельствовали о процессах окисления компонентов щелочной вытяжки из дерново-подзолистой почвы при экстракции в присутствии O₂. Гумификация в черноземах сопровождалась глубокой окислительной трансформацией соединений органических остатков, при котором щелочные условия и присутствие молекулярного кислорода не вызывали дальнейшего окисления ГК.

Анализ способов извлечения гуминовых кислот из торфов показал, что существуют различные способы получения биологически активных веществ из торфа, угля и другого природного органического вещества: физические, химические, микробиологические, биохимические, которые базируются на различном воздействии на органическое вещество, его гуминовый комплекс. Наиболее широкое использование для извлечения

биологически активных веществ нашло применение водных растворов щелочей [57-58].

Интерес представляет извлечение ГК из углей, поскольку Казахстан входит в десятку стран, на территории которых находятся самые большие залежи угля в мире. Хорошо известно, что достаточно большие запасы углей в республике имеются в Карагандинской, Павлодарской, Костанайской, Восточно-Казахстанской, и Актыбинской областях. Запасы угля в Казахстане на сегодняшний день оцениваются приблизительно в 33 миллиарда тонн, что составляет около 4% от количества мировых резервов. При этом 62% залежей приходится на бурый уголь, а 38% - на каменный. Несмотря на неравномерное расположение месторождений, балансовые запасы породы позволяют обеспечить, как внутренние потребности в энергетическом угле, так и экспортировать довольно большие объемы топлива за рубеж. Угольная промышленность страны на 78% обеспечивает выработку электроэнергии и на 100% коксохимическое производство [59].

Исследования литературных источников показывает о существовании способов получения гуминовых кислот обработкой твердого угля водным раствором гидроксида натрия, калия и аммония; окисление угля смесью водных растворов минеральной и органической кислот, а также электрохимическими способами выделения [60-63]. В работе [63] показан способ повышения выхода гуматов из каменного угля до 40%. Суть метода заключалась в разбавлении измельченного угля раствором едкого натра под воздействием температуры с предварительной обработкой водяным паром в реакторе. Сотрудниками СамГУ [64] разработаны методы выделения ГК и гуматов калия и натрия из образцов бурого угля традиционным способом водно-щелочной экстракцией с последующим их осаждением в кислой среде. Реакции извлечения ГК сводятся к следующим уравнениям:



где БУ – бурые угли, содержащее гуминовые вещества, ГК – остаток гуминовой кислоты, ФК –

фульвокислоты, ГМК – гиматомелановой кислоты.

Авторами модифицированы методики по выделению гуминовых кислот из бурых углей, экспериментально подобраны концентрации, температура, время проведения реакции. Определено, что наиболее полное выделение гуминовых кислот происходит при экстракции 4% раствором щелочи, более высокая концентрация щелочи не сказывается на более полном извлечении гуминовых кислот, оптимальное время реакции – 4 часа, нагревание более 4 часов также не сказывается на более полном извлечении гуминовых кислот.

А в работе [65] установлено, что способ выделения гуминовых кислот из одного источника влияет на количество функциональных групп, что сказывается на сорбционных свойствах. Показана потенциальная перспективность проведения механохимической обработки бурого угля, направленная на окисление и увеличение фенольных и карбоксильных групп. Также определено, что в результате механохимического окисления органического вещества бурого угля уменьшается доля алифатических фрагментов, увеличивается содержание карбоксильных и фенольных групп в структуре гуминовых кислот. Увеличивается экстрагируемость гуминовых кислот (с 24 до 70 % для всех гуминовых кислот, с 2 до 15 % для водорастворимых гуминовых кислот). Механохимическая обработка в выбранных условиях не приводит к разрушению макромолекул гуминовых кислот, увеличивая растворимость более крупных молекул.

Исследования китайских ученых по извлечению ГК из выветренного угля Хуанлин щелочными растворимыми кислотами, кислородом и каталитическими методами описано в работе [66]. Результаты исследований показали, что каталитический метод является оптимальным для извлечения гуминовых кислот. В процессе оптимальной экстракции

использовали катализатор NHPI и сырье обрабатывали в растворе NaOH 0,5 моль/л в соотношении твердое вещество-жидкость 1:8 в течение 30 мин на кипящей водяной бане.

Это, конечно же, не весь перечень исследований в данном вопросе. Но, удручает тот факт, что в данном списке работы наших казахстанских ученых ничтожно мал [67]. Учитывая огромные запасы угля республики - источника гуминовых кислот, являющихся лучшими адсорбентами, стабилизаторами и закрепителями дисперсных систем, хотелось бы расширения исследований в данной области. Поскольку извлекая ГК из углей и используя их в составе композиции полимерных и иных комплексов, можно было бы решить ряд экологически актуальных проблем. Предпосылки исследований ученых и результаты собственных исследований позволяют предполагать, что разработка структурообразователей – интерполимерных комплексов гуминовых кислот с азотсодержащими полимерами и поверхностно-активными веществами катионного и анионного типа решит ряд практически важных задач в структурировании эродированных почв. В частности, комплексные исследования современными физико-химическими методами коллоидно-химических, структурно-реологических свойств, изучение механизма получения и взаимодействия ИПК с почвой, оценка воздействия комплексов на жизнедеятельность растений, произрастающих на эродированной территории области, проведение полевых испытаний с определением остаточных количеств пестицидов должны способствовать созданию экологически безопасных структурообразователей - закрепителей, которые улучшат агрофизические свойства почвы и повысят устойчивость грунтов и барханных песков против водной и ветровой эрозии.

Конфликт интересов. Корреспондент автор заявляет, что конфликта интересов нет.

Ссылка на данную статью: Бектурганова Н. Е. Современное состояние проблемы охраны почв и перспектива применения гуминовых кислот // *Комплексное использование минерального сырья = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*. 2021. №1(316), стр. 69-81. <https://doi.org/10.31643/2021/6445.09>

Cite this article as: Bekturganova N. Ye. Sovremennoye sostoyaniye problemy okhrany pochv i perspektiva primeneniya guminovykh kislot [Current state of the problem of soil protection and prospect of using humic acids]. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu*. 2021. № 1 (316), pp. 69-81. (In Rus.). <https://doi.org/10.31643/2021/6445.09>

Топырақты қорғау проблемасының қазіргі жағдайы мен гумин қышқылдарын қолдану перспективасы

Бектұрғанова Н. Е.

Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы қ, Қазақстан

Корреспондент автордың email: bektur_n@mail.ru

Мақала келді: 12 ақпан 2021

Рецензенттен өтті: 16 ақпан 2021

Қабылданды: 05 наурыз 2021

ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада топырақ жамылғысын қорғау мәселелері бойынша әдебиеттерге шолу жасалды. Бүгінгі күні, топырақтың деградациясы мен эрозиясына алып келетін әр түрлі сипаттағы техногендік қалдықтармен литосфераның қатты ластануы кезеңінде, топырақтардың физикалық, химиялық, гидрологиялық, агрономиялық және басқа қасиеттерін жақсарту шараларында табиғи зияны аз шикізатқа артықшылық берілуі керек. Оларға гумин қышқылдары (ГҚ) және олардың туындылары жатады. Олар жақсы адсорбенттер, тұрақтандырғыштар және дисперсті жүйелердің бекітушілері болып табылады. Гумин қышқылдарының әртүрлі суда еритін полимерлермен және БАЗ-мен түзілетін композицияларын зерттеу тағы бір толық зерттелмеген бағыт. Қазақстандық ғалымдардың еңбектеріне жасалған шолу - гумин қышқылдарының алынуы, ГҚ-ң полимерлермен және беттік активті заттармен интерполимерлі комплекстерді (ИПК) түзуі, сонымен қатар оларды жел мен су эрозиясына ұшырайтын топырақтардың бекіткіші, құрылым түзушісі ретінде қолдану сияқты бағыттардың дамымағандығын көрсетеді. Гумин қышқылдарының қайнар көзі болып табылатын республикада көмірдің үлкен қорына ие бола отырып, ГҚ-рын алу, олардың негізінде ИПК алу және еліміздегі деградацияланған топырақтарды жақсарту үшін қолданылатын жаңа құрылымдарды алу бойынша кешенді зерттеулерді жүргізілмесе, оны кешіруге болмайды.

Түйінді сөздер: топырақ, құрылымның түзілуі, дисперсті жүйе, топырақ эрозиясы, гумин қышқылы, интерполимер кешені.

Автор туралы ақпарат:

Бектұрғанова Нәйла Есенкелді қызы

химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, ғылым және жоғары оқу орынан кейінгі білім беру орталығының директоры. <https://orcid.org/0000-0003-3062-3340>

Литература

- [1] Электронный учебник по биологии. <https://bioslogos.ru/59-ekologiya-pochvy>. 18.01.2021.
- [2] O'Geen, A. T., and Schwankl, L. J. (2005) Understanding soil erosion in irrigated agriculture. *Oakland: University of California Division of Agriculture and Natural Resources*, Publication 8196.
- [3] Soil erosion in South Africa – its nature and distribution. <https://www.grainsa.co.za/soil-erosion-in-south-africa---its-nature-and-distribution.html> 20.01.2021.
- [4] García-Orenes, F., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Bodí, M.B., Arcenegui, V., Zornoza, R., Sempere, J.G. (2009). Effects of agricultural management on surface soil properties and soil–water losses in eastern Spain. *Soil and Tillage Research*, Volume 106, Issue 1, 117-123.
- [5] Tiziano Gomiero. (2016) Soil Degradation, Land Scarcity and Food Security: Reviewing a Complex Challenge. *Sustainability* 8, 281
- [6] Breshers, D.D, Whicker J., Johansen, M. et al. (2003) Wind and water erosion and transport in semi-arid shrubland and forest ecosystems: quantifying dominance of horizontal wind-driven transport. *Earth Surface processes and Landforms*, 28: 1189-1209.
- [7] Cost of Soil Erosion. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/cost-of-soil-erosion/en/> 20.01.2021.
- [8] Проблемы современной науки и образования. <https://files.scienceforum.ru/pdf/2012/1046.pdf> 20.01.2021.
- [9] Смирнов, С. Деградация земель в Казахстане: фактор природный и человеческий. *Путь Евразии* 07.11.2019, 00.01
- [10] Эрозия почв и причины ее возникновения. <https://fb.ru/article/40558/eroziya-pochv-i-prichiny-ee-vozniknoveniya>. 20.01.2021.
- [11] Аль Майди Али Аббас Хашим. Восстановление почв после промышленных разработок. *Молодой ученый*. 2015, 3(83), 358-360.
- [12] Перевод Б. Малиновского. Как остановить эрозию. *Пропозиция*. 07.08.2019
- [13] Трегубов П.С., Зверхановский Н.В. Борьба с эрозией почв в Нечерноземье. Л., 1981, 160.
- [14] Богатырева Е.Н., Серая Т.М., Бирюкова О.М. Влияние севооборотов и систем удобрения на показате ли гумусного состояния дерново-подзолистых суглинистых почв разной степени эродированности. *Почвоведение и агрохимия* 2017. 1(58), 85-94.
- [15] César Tiago Forte, Amauri Nelson Beutler, Leandro Galon, Giovane Matias Burg. Soil Physical Properties and Grain Yield Influenced by Cover Crops and Crop Rotation. *American Journal of Plant Sciences*. 2018, 09(04), 584-598.
- [16] Е.А. Бектуров, Л.А. Бимендина, Г.К. Мамытбеков. Комплексы водорастворимых полимеров и гидрогелей. Алматы.: НИЦ «Гылым», 2002, 220.
- [17] Полимерные материалы в строительстве. <https://perekos.net/sections/view/59> 22.01.2021
- [18] L. C. Hollaway. Polymer composites in construction: A brief history. *Engineering and Computational Mechanics*. 2009. 162(3), 107-118.
- [19] Куренков В.Ф. Водорастворимые полимеры акриламида. *Соросовский образовательный журнал*. 1997, 5, 48-53.

- [20] Flanagan, D.C. and K. Chaudhari. 1999. Erosion control with polyacrylamide on steep slopes. Technical papers, annu. meet. ASAE, Toronto, Ontario, Canada. 18-22 July 1999. ASAE, St. Joseph, MI.
- [21] Seybold, C.A. 1994. Polyacrylamide review: soil conditioning and environmental fate. *Comm. Soil Sci. Plant Analysis* 25, 2171-2185.
- [22] Shainberg, I., D.N. Warrington and P. Rengasamy. 1990. Water quality and PAM interactions in reducing surface sealing. *Soil Sci.* 149, 301-307.
- [23] Zhang, X.C. and W.P. Miller. Polyacrylamide effect on infiltration and erosion in furrows. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1996, 60:866-872.
- [24] Mamedov A. I., Wagner L. E., Huang CNorton., L. D., Levy G. J. Polyacrylamide Effects on Aggregate and Structure Stability of Soils with Different Clay Mineralogy. *Soil & Water Management & Conservation.* 2010, 74, 5.
- [25] Sharipova A., Akbarov H., and Andriyko L. A Method of obtaining the soil amendment. *International Journal of Recent Scientific Research.* 2020, 11, 05 (B), 38633-38640.
- [26] Джанпеисов Р.Д. Исследование по применению полимерных соединений в борьбе с эрозией почв. Алма-Ата: Наука, 1988. 90 с.
- [27] Захарова Е.И. Влияние водорастворимых полимеров на агрофизические и почвозащитные свойства светло-серых эродированных почв Предкамья Республики Татарстан, 1999г., 194 с.
- [28] Хабиров И.К., Сайфуллин Р.Р. Влияние высокомолекулярных водорастворимых полимеров на агрофизические свойства почв и продуктивность сельскохозяйственных культур при их применении. *Агрохимия*
- [29] Ж. С. Касымова, Л. К. Оразжанова, А. Н. Кливенко, Б. Х. Мусабаева, Д. К. Асержанов. Получение и свойства интерполимерных комплексов, способных к структурообразованию почв. *Журнал прикладной химии.* 2019. Т. 92. Вып.2, с.177-186.
- [30] Ганиев Х.И. Применение полимерного структурообразователя ДЭМАН для улучшения агрофизических свойств почвы при орошении. *ЦНТИ,* 58-88.
- [31] Mussabayeva B.Kh., Kassymova Zh.S. Aldabergenova M.A Interpolymer complex of biopolymers as a soil structure-forming agent. *Вестник Карагандинского университета.* DOI: 10.31489/2020Ch1/22-29
- [32] Мусабеков К.Б. Тажибаева С.М., Бектурганова Н.Е., Керимкулова М.Ж, Таныбаева А.К. Структурообразование поверхностного слоя высохшего дна Аральского моря интерполимерными комплексами гумата натрия. 1. Исследование особенностей взаимодействия гумата натрия с катионными полиэлектролитами. *Известия НТО «Кахак».* 2012, 2(36), 8-13.
- [33] Мусабеков К.Б. Тажибаева С.М., Бектурганова Н.Е., Керимкулова М.Ж, Таныбаева А.К. Структурообразование поверхностного слоя высохшего дна Аральского моря интерполимерными комплексами гумата натрия. 2. Исследование противоэрозионной стойкости. *Известия НТО «Кахак»,* 2012, (36), 14-17.
- [34] Ахмеджонов, Д. Г. Эффективное использование интерполимерных комплексов при минерализации почв. *Молодой ученый.* 2016, 27 (131), 207-208.
- [35] Ахмеджонов Д. Г. Поливной режим хлопчатника при поливе водосберегающими приемами *Журнал Agroilm.* 2010, 3(15), 13–14.
- [36] Мухамедов Г. И., Каримов З., Ахмеджонов Д. Г., Хафизов М. М., Ахмеджанов Г. А. Рекомендации по применению ИПК и созданию противофильтрационного экрана с целью экономии оросительной воды. Ташкент., 2008, 17 с.
- [37] Михейкин С.В., Смирнов А.Ю., Алексеев А.Н., Пронина Л.В., Зезин А.Б., Ануфриева С.И. Интерполимерные комплексы для закрепления поверхности и предотвращения пылепереноса ветровой и водной эрозии хвостохранилищ, золоотвалов и других дисперсных систем. *Московский гос. университет.* 2004., 278-282.
- [38] Бектурганова Н.Е. Структурирование эрозивно опасных почв водорастворимыми полиэлектролитами и их интерполимерными комплексами 26.10.2006 диссер. на соискание ученой степени: к.х.н. 104 с.
- [39] Пат. 15020 РК. Композиционный структурообразователь почв. Опубл. 15.08.2002; Бюл. № 11.
- [40] Loffredo E., Antonio P., Nicola S. More Germination and Early Growth of Slickspot Peppergrass (*Lepidium papilliferum*) as Affected by Desert Soil Humic Acids. *Soil Science.* 2010, 175(4), 186-193.
- [41] Goldberg S. Chemical Modeling of Boron Adsorption by Humic Materials Using the Constant Capacitance Model. *Soil Science.* 2014, 179(12), 561-567.
- [42] Davies G., Ghabbour E.A. Humic Acids: Marvelous Products of Soil Chemistry. *Journal of Chemical Education.* 2001. 78(12).
- [43] Перминова И.В. Гуминовые вещества — вызов химикам XXI века. *Химия и жизнь.* 2008, 1.
- [44] Механохимическая модификация структуры гуминовых кислот для получения комплексных сорбентов. https://www.avitapro.com/upload/images/gumin/sostav_guminovoyi_kisloty.jpg.html 22.01.2021
- [45] Раковский В.Е. Общая химическая технология торфа. Государственное энергетическое издательство. 1949, 366с.
- [46] Савченко И. А., Корнеева И. Н., Лукша Е.А. Пасечник К. К. Биологическая активность гуминовых веществ: перспективы и проблемы их применения в медицине (обзор). *Журнал No 1 (23) апрель, 2019,* с. 54-60.
- [47] Canellas, Luciano P.; Spaccini, Riccardo; Piccolo, Alessandro; More. Relationships Between Chemical Characteristics and Root Growth Promotion of Humic Acids Isolated From Brazilian Oxisols. *Soil Science.* 2009, 174(11), 611-620.
- [48] Canellas, Luciano P.; Zandonadi, Daniel B.; Busato, Jader G.; More. Bioactivity and chemical characteristics of humic acids from tropical soils sequence. *Soil Science.* 2008, 173(9), 624-637.
- [49] Dolfing, J.; Chardon, W. J.; Japenga, J. Association between colloidal iron, aluminum, phosphorus, and humic acids. *Soil Science.* 1999, 164(3), 171-179.
- [50] Zhang, Yi-Ran; Xue, Tong; Wang, Ren-Qing; More. FTIR Spectroscopic Structural Characterization of Forest Topsoil Humic Substances and Their Adsorption and Desorption for Mercury. *Soil Science.* 2013, 178(8), 436-441.
- [51] Saeki, Kazutoshi. Adsorption of Fe²⁺ and Mn²⁺ on silica, gibbsite, and humic acids. *Soil Science.* 2004, 169(12), 832-840.
- [52] Холин Ю.В. Гумусовые кислоты как главные природные комплексообразующие вещества <http://chemo.univer.kharkov.ua/departament/for%20students/humic%20acids.pdf> 22.01.2021

- [53] Milori, Débora M. B. P., Martin-Neto, Ladislau, Bayer, Cimélio. Humification degree of soil humic acids determined by fluorescence spectroscopy. *Soil Science*. 2002, 167(11), 739-749.
- [54] Левинский Б.В. Всё о гуматах. Иркутск: Корф-Полиграф. 2000, 75.
- [55] Wang, Kaijun; Xing, Baoshan. Roton correlation times and segmental mobility of humic acids in two solvents. *Soil Science*. 2004, 169(3), 168-175.
- [56] Заварзина, А.Г., Кравченко, Е.Г., Константинов, А.И., Перминова, И.В., Чуков, С.Н., Демин, В.В. Сравнение свойств препаратов гуминовых кислот, выделенных из почв щелочной экстракцией в присутствии и отсутствии кислорода. *Почвоведение*. 2019, 8, 910-922.
- [57] Зыкова М.В., Белоусов М.В., Гурьев А.М., Ахмеджанов Р.Р., Юсубов М.С. Стандартизация гуминовых кислот низинного древесно-травяного вида торфа. *Химико-фармацевтический журнал*. 2013, 47, 12, 53-56.
- [58] 2 429 214 RU. Sposob polycheniya guminovykh kislot is torfa (A method of producing humic acids and humic substances from peat) /Dudkin D.V., Tolstyak A.S., Fakhretdinova G.F. Opubl. 2011.09.20 (in Russ.).
- [59] Добыча угля в Казахстане. <http://uglex.com/articles/232-zapasy-uglya-v-kazakhstan.html> 26.01.2021
- [60] Чухарева Н.В. Исследование кинетики термически активированных изменений состава и свойств торфяных гуминовых кислот. Дисс. на соиск. уч. ст. д.х.н. Томск, 2003, 126 с.
- [61] Потапова И.А., Вишняков В.В., Пурьгин П.П., Симакова С.А., Воробьев Д.В., Ушакова В.Н. Выделение гуминовых кислот из бурых углей и их применение для рекультивации нефтезагрязненных земель. *Известия Самарского научного центра РАН*. Специальный выпуск «XIII конгресс Экология и здоровье человека». 2008, 215–218.
- [62] Noskova L.P. Humic Substances of Brown Coal from the Sergeyevo Coalfield. *Chem. for Sustain. Develop.* 2019, 17, 61-65.
- [63] Харьбин Т.А. Технология получения гуминовых веществ окисленных углей. Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. 2017, с. 10-12.
- [64] Пурьгин П.П., Потапова И.А., Воробьев Д.В. Гуминовые кислоты: их выделение, структура и применение в биологии, химии и медицине. *Актуальные проблемы биологии, химии и медицины*. 2014, 180-196.
- [65] Скрипкина Т.С. Механохимическая модификация структуры гуминовых кислот для получения комплексных сорбентов. Научный доклад об основных результатах НКР (диссертации). Новосибирск. 2018, 24с.
- [66] Y. Guo, C. Ma, F. Hui, L. Wang. Humic acid extraction from weathered coal and its properties characterization. *Chinese Journal of Environmental Engineering*. 2017, 11(5), 3153-3160.
- [67] Каирбеков Ж.К., Жубанов К.А., Ешова Ж.Т., Каирбеков А.Ж. Синтез гуминовых кислот и их солей из бурых углей. Методическое указания к лабораторной работе. Алматы: Қазақ университеті. 2000, 20 с.

Reference

- [1] Elektronnyy uchebnik po biologii [Electronic textbook on biology]. <https://bioslogos.ru/59-ekologiya-pochvy>. 18.01.2021. (in Russ.)
- [2] O'Geen, A. T., and Schwankl, L. J. (2005) Understanding soil erosion in irrigated agriculture. *Oakland: University of California Division of Agriculture and Natural Resources*, Publication 8196. (in Eng.)
- [3] Soil erosion in South Africa – its nature and distribution. <https://www.grainsa.co.za/soil-erosion-in-south-africa---its-nature-and-distribution>. 20.01.2021.(in Eng.)
- [4] García-Orenes, F., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Bodí, M.B., Arcenegui, V., Zornoza, R., Sempere, J.G. (2009). Effects of agricultural management on surface soil properties and soil–water losses in eastern Spain. *Soil and Tillage Research*, Volume 106, Issue 1, 117-123. (in Eng.)
- [5] Tiziano Gomiero. (2016) Soil Degradation, Land Scarcity and Food Security: Review. a Complex Challenge. *Sustain.* 8, 281. (in Eng.)
- [6] Breshers, D.D, Whicker J., Johansen, M. et al. (2003) Wind and water erosion and transport in semi-arid shrubland and forest ecosystems: quantifying dominance of horizontal wind-driven transport. *Earth Surface processes and Landforms*, 28: 1189-1209. (in Eng.)
- [7] Cost of Soil Erosion. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/cost-of-soil-erosion/en/> 20.01.2021.
- [8] Problemy sovremennoi nauki i obrazovaniya [Problems of modern science and education]. <https://files.scienceforum.ru/pdf/2012/1046.pdf>. html 20.01.2021. (in Russ.)
- [9] Smirnov S. Degradatsiya zemel' v Kazakhstane: faktor prirodnyy i chelovecheskii [Land degradation in Kazakhstan: a natural and human factor]. *Ritmy Evrazii = Rhythms of Eurasia*. 2019, 00.01. (in Russ.)
- [10] Eroziya pochv i prichiny ee vozniknoveniya [Soil erosion and its causes]. <https://fb.ru/article/40558/eroziya-pochv-i-prichiny-ee-vozniknoveniya>. (in Russ.)
- [11] Al Madi Ali Abbas Hashim. Vosstanovlenie pochv posle promyshlennykh razrabotok [Restoration of soils after industrial developments]. *Molodoi uchenyi = A young scientist*. 2015, 3(83), 358-360. (in Russ.)
- [12] Translated by B. Malinovsky. Kak ostanovit' eroziyu [How to stop erosion]. *Propositiya = Propositiya*. 07.08.2019. (in Russ.)
- [13] Tregubov P. S., Zverkhanovsky N. V. Bor'ba s eroziyei pochv v Nechernozem'e [Fight against soil erosion in the Non-Chernozem region]. *Kolos=Ear*. 1981, 160. (in Russ.)
- [14] Bogatyreva E. N., Seraya T. M., Biryukova O. M. [Vliyaniye sevooborotov i sistem udobreniya na pokazateli gumusnogo sostoyaniya dernovo-podzolistykh suglinistykh pochv raznoi stepeni erodirovannosti [Influence of crop rotations and fertilizer systems on the indicators of the humus state of sod-podzolic loamy soils of different degrees of eroding]. *Pochvovedenie i agrokhimiya = Soil science and agrochemistry*. 2017. 1(58), 85-94. (in Russ.)
- [15] César Tiago Forte, Amauri Nelson Beutler, Leandro Galon, Giovane Matias Burg. Soil Physical Properties and Grain Yield Influenced by Cover Crops and Crop Rotation. *American Journal of Plant Sciences*. 2018, 09(04), 584-598. (in Eng.) ?

- [16] Bekturov E.A., Bimendina L. A., Mamytbekov G. K.. Kompleksy vodorastvorimyyx polimerov I gidrogelei [Complexes of water-soluble polymers and hydrogels]. *Gylym = Science*. 2002, 220. (in Russ.)
- [17] Polimernye materialy v stroitel'tve [Polymer materials in constructions]. <https://perekos.net/sections/view/59.html> 22.01.2021. (in Russ.)
- [18] L. C. Hollaway. Polymer composites in construction: A brief history. *Engineering and Computational Mechanics*. 2009. 162(3), 107-118. (in Eng.)
- [19] Kurenkov V. F. Vodorastvorimye polimery akriamida [Water-soluble polymers of acrylamide]. *Sorosovskii obrazovatel'nyi zhurnal= Soros Educational Journal*.1997, 5, 48-53. (in Russ.)
- [20] Flanagan, D.C. and K. Chaudhari. 1999. Erosion control with polyacrylamide on steep slopes. Technical papers, annu. meet. ASAE, Toronto, Ontario, Canada. 18-22 July 1999. ASAE, St. Joseph, MI. (in Eng.)
- [21] Seybold, C.A. 1994. Polyacrylamide review: soil conditioning and environmental fate. *Comm. Soil Sci. Plant Analysis* 25, 2171-2185. (in Eng.)
- [22] Shainberg, I., D.N. Warrington and P. Rengasamy. 1990. Water quality and PAM interactions in reducing surface sealing. *Soil Sci.* 149, 301-307. (in Eng.)
- [23] Zhang, X.C. and W.P. Miller. Polyacrylamide effect on infiltration and erosion in furrows. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1996, 60:866-872. (in Eng.)
- [24] Mamedov A. I., Wagner L. E., Huang CNorton., L. D., Levy G. J.. Polyacrylamide Effects on Aggregate and Structure Stability of Soils with Different Clay Mineralogy. *Soil & Water Management & Conservation*. 2010, 74, 5. (in Eng.)
- [25] Sharipova A., Akbarov H., and Andriyko L. A Method of obtaining the soil amendment. *International Journal of Recent Scientific Research*. 2020, 11, 05 (B), 38633-38640. (in Eng.)
- [26] Dzhanpeisov R. D. Issledovanie po primeneniy polimernyyx soedinenii v bor-be s eroziei pochv [Research on the use of polymer compounds in the fight against soil erosion]. *Nauka=Science*. 1988. 90. (in Russ.)
- [27] Zakharova E. I. Vliyanie vodorastvorimyyx polimerov na agrophizicheskie I pochvozashitnye svoistva svetlo-seryyx erodirovannyx pochv Predkam'ya Respubliki Tatarstan [Influence of water-soluble polymers on the agrophysical and soil-protective properties of light-gray eroded soils of the Kama region of the Republic of Tatarstan]. *Dissertatsiya =Dissertation*. 1999., 194. (in Russ.)
- [28] Khabirov I. K., Sayfullin R. R. Vliyanie vysokomolekulyarnyyx vodorastvorimyyx polimerov na agrophizicheskie svoistva pochv I produktivnost' sel'skoxozyaistvennyx kul'tur pri ix primenenii [Influence of high-molecular water-soluble polymers on the agrophysical properties of soils and the productivity of agricultural crops in their application]. *Agroximiya =Agrochemistry*. 2014, 8-11. (in Russ.)
- [29] Kasymova Zh. S., Orazzhanova L. K., Klimentko A. N., Musabaeva B. Kh., and Sarzhanov D. K. Poluchenie I svoistva interpolimernyyx kompleksov, sposobnyx k strukturirovaniy [Preparation and properties of interpolymer complexes capable of soil structure formation]. *Zhurnal prikladnoi khimii =Jour. of Applied Chem*. 2019. T. 92. V2, 177-186. (in Russ.)
- [30] Ganiev H. I. Primenenie polimernogo structuroobrazovatelya DEMAN dlya uluchsheniya agrophizicheskix svoistv pochvy pri oroshenii [Application of the polymer structure-forming agent DEMON for improving the agrophysical properties of the soil during irrigation]. *TsNTI =CSTR*, 58-88. (in Russ.)
- [31] Mussabayeva B.Kh., Kassymova Zh.S., Aldabergenova M.A Interpolymer complex of biopolymers as a soil structure-forming agent. *Вестник Карагандинского университета*. DOI: 10.31489/2020Ch1/22-29. (in Eng.)
- [32] Musabekov K. B, Tazhibaeva S. M.,Bekturganova N.Ye., Kerimkulova M. Zh, Tanybaeva A. K. Structuroobrazovanie poverxnostnyx sloev erodirovannoi pochvy Aral'skogo moray interpolimernymi kompleksami gumata natriya. 1 Issledovanie vzaimodeistviya gumata natriya s kationnymi polielectrolitami [Structure formation of the surface layer of the dried bottom of the Aral Sea by interpolymer complexes of sodium humate. 1. Investigation of the interaction of sodium humate with cationic polyelectrolytes]. *Izvestiya NTO "Kahak" = Izvestiya NTO "Kahak"* 2012, 2(36), 8-13. (in Russ.)
- [33] Musabekov K. B, Tazhibaeva S. M.,Bekturganova N.Ye., Kerimkulova M. Zh, Tanybaeva A. K. Structuroobrazovanie poverxnostnyx sloev erodirovannoi pochvy Aral'skogo moray interpolimernymi kompleksami gumata natriya. 2.Issledovanie protivoroionnoi stoikosti. [Structure formation of the surface layer of the dried bottom of the Aral Sea by interpolymer complexes of sodium humate. Izvestiya NTO "Kahak"= Izvestiya NTO "Kahak". 2012, (36), 14-17. (in Russ.)
- [34] Akhmedzhonov D. G. Effectivnoe ispolzovanie interpolimernyyx kompleksov pri mineralizatsii pochv [Effective use of interpolymer complexes in soil mineralization]. *Molodoi uchenyi = A young scientist*. 2016, 27 (131), 207-208. (in Russ.)
- [35] Akhmedzhonov D. G. [Polivnoi rezhim pri polive vodosberegayshimi priemami [Irrigation regime of cotton when watering with water-saving techniques]. *Jurnal Agroilm =Agroilm Journal*. 2010, 3(15), 13–14. (in Russ.)
- [36] Mukhamedov G. I., Karimov Z., Akhmedzhanov D. G., Hafizov M. M., Akhmedzhanov G. A. Rekomendatsii po primeneniy IPK I sozdaniy protivofil'tratsionnogo ekrana s tselyu economii orositel'noi vody [Recommendations for the use of IPC and the creation of an anti-filtration screen to save irrigation water]. *Tashkent = Tashkent*. 2008, 17. (in Russ.)
- [37] Mikheikin S. V., Smirnov A. Yu., Alekseev A. N., Pronina L. V., Zezin A. B., Anufrieva S. I. Interpolimernye komplekxy dlya zakrepleniya povexnosti I predotvrasheniya pyleperenosa vetrovoi I vodnoi erosii xvostoxranilish, zolootvalov I drugix dispersnyx sistem [Interpolymer complexes for fixing the surface and preventing dust transfer of wind and water erosion of tailings, ash dumps and other dispersed systems]. *Moskovskii gos. Universitet = Moscow State University*. 2004.,278-282. (in Russ.)
- [38] Bekturganova N. Ye. Strukturoobrazovanie erozionnoopasnyx pochv vodorastvorimymi polielectrolitami I ix interpolimernymi kompleksami [Structuring of erosion-hazardous soils with water-soluble polyelectrolytes and their interpolymer complexes].*Dissertatsiya = Dissertation*. 104. (in Russ.)
- [39] Pat. 15020 RK. Kompozitsionnyi structuroobrazovatel' pochv [Composite soil structurizer]. 2002; Byul. No. 11. (in Russ.)
- [40] Loffredo E., Antonio P., Nicola S. More Germination and Early Growth of Slickspot Peppergrass (*Lepidium papilliferum*) as Affected by Desert Soil Humic Acids. *Soil Science*. 2010, 175(4), 186-193. (in Eng.)

- [41] Goldberg S. Chemical Modeling of Boron Adsorption by Humic Materials Using the Constant Capacitance Model. *Soil Science*. 2014, 179(12), 561-567. (in Eng.)
- [42] Davies G., Ghabbour E.A. Humic Acids: Marvelous Products of Soil Chemistry. *Journal of Chemical Education*. 2001. 78(12).
- [43] Perminova I. V. Guminovye veshstva – vyzov ximikam XXI veka [Humic substances-a challenge to chemists of the XXI century]. *Ximiya I zhizn = Chemistry and life*. 2008, 1. (in Russ.)
- [44] Mexaanoximicheskaya modifikatsiya struktury gumonovykh kislot dlyaa polucheniya kompleksnykh sorbentov [Mechanochemical modification of the structure of humic acids for the production of complex sorbents]. https://www.avitapro.com/upload/images/gumin/sostav_guminovoyi_kisloty.jpg.html 22.01.2021
- [45] Rakovsky V. E. Obshaya ximicheskaya tehnologiya torfa [General chemical technology of peat]. *Gosudarstvennoe energeticheskoe izdatelstvo = State Energy Publishing House*. 1949, 366. (in Russ.)
- [46] Savchenko I. A., Korneeva I. N., Luksha E. A. Pasechnik K. K. Biologicheskaya aktivnost gumonovykh veshstv: perspektivy I problem ix primeneniya v meditsine (obzor) [Biological activity of humic substances: prospects and problems of their application in medicine (review)]. *Medial-Zhurnal = Medial-Journal*. 2019, 1(23). 54-60. (in Russ.)
- [47] Canellas, Luciano P.; Spaccini, Riccardo; Piccolo, Alessandro; More. Relationships Between Chemical Characteristics and Root Growth Promotion of Humic Acids Isolated From Brazilian Oxisols. *Soil Science*. 2009, 174(11), 611-620. (in Eng.)
- [48] Canellas, Luciano P.; Zandonadi, Daniel B.; Busato, Jader G.; More. Bioactivity and chemical characteristics of humic acids from tropical soils sequence. *Soil Science*. 2008, 173(9), 624-637. (in Eng.)
- [49] Dolfing, J.; Chardon, W. J.; Japenga, J. Association between colloidal iron, aluminum, phosphorus, and humic acids. *Soil Science*. 1999, 164(3), 171-179. (in Eng.)
- [50] Zhang, Yi-Ran; Xue, Tong; Wang, Ren-Qing; More. FTIR Spectroscopic Structural Characterization of Forest Topsoil Humic Substances and Their Adsorption and Desorption for Mercury. *Soil Science*. 2013, 178(8), 436-441. (in Eng.)
- [51] Saeki, Kazutoshi. Adsorption of Fe²⁺ and Mn²⁺ on silica, gibbsite, and humic acids. *Soil Sc*. 2004, 169(12), 832. (in Eng.)
- [52] Kholin Yu. V. Gumusovye kisloty kak glavnye prirodnye kompleksobrazuyushie veshstva [Humic acids as the main natural complexing substances]. <http://chemo.univer.kharkov.ua/department/for%20students/humic%20acids.pdf>. 22.01.2021
- [53] Milori, Débora M. B. P., Martin-Neto, Ladislau, Bayer, Cimélio. Humification degree of soil humic acids determined by fluorescence spectroscopy. *Soil Science*. 2002, 167(11), 739-749. (in Eng.)
- [54] Levinsky B. V. vse o gumatax [All about humates]. *Korf-Poligraf=Korf-Polygraph*. 2000, 75. (in Russ.)
- [55] Wang, Kaijun; Xing, Baoshan. Roton correlation times and segmental mobility of humic acids in two solvents. *Soil Science*. 2004, 169(3), 168-175. (in Eng.)
- [56] Zavarzina, A. G., Kravchenko, E. G., Konstantinov, A. I., Perminova, I. V., Chukov, S. N., Demin, V. V. [Svrnenie svoystv preparatov gumonovykh kislot, vydelenykh iz pochv shelochnoi ekstraktsiei v prisutstvii I otsutstvii kisloroda [Comparison of properties of humic acid preparations isolated from soils by alkaline extraction in the presence and absence of oxygen]. *Pochvovedenie = Soil science*. 2019, 8, 910-922. (in Russ.)
- [57] Zykova M. V., Belousov M. V., Guryev A.M., Akhmedzhanov R. R., Yusubov M. S. Standartizatsiya gumonovykh kislot nizinngo drevesno-travyanogo vida torfa [Standardization of humic acids of lowland wood-grass peat species]. *Ximiko-farmatsevticheskii zhurnal = Chemical and Pharmaceutical journal*. 2013, (47), 53-56. (in Russ.)
- [58] 2 429 214 RU. Sposob polucheniya gumonovykh kislot iz torfa (A method of producing humic acids and humic substances from peat) /Dudkin D.V., Tolstyak A.S., Fakhretdinova G.F. Opubl. 2011.09.20 (in Russ.).
- [59] Dobycha uglja v Kazakhstane [Coal mining in Kazakhstan]. <http://uglex.com/articles/232-zapasy-uglya-v-kazakhstan.html> 26.01.2021
- [60] Chukhareva N. V. Issledovanie kinetiki termicheski aktivirovannykh izmenenii sostava I svoystva torphyanykh gumonovykh kislot [Investigation of the kinetics of thermally activated changes in the composition and properties of peat humic acids]. *Dissertatsiya= Dissertation*. 2003, 126. (in Russ.)
- [61] Potapova I. A., Vishnyakov V. V., Purygin P. P., Simakova S. A., Vorobyev D. V., Ushakova V. N. Vydelenie gumonovykh kislot iz burykh uglei I ix primeneniye dlya rekultivatsii neftezagryaznennykh zemel' [Isolation of humic acids from brown coals and their application for recultivation of oil-polluted lands]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN, Spetsial'nyi vypusk "XII congress Ekologiya I zdorove cheloveka" = Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Special issue "XII Congress of Ecology and Human Health"*. 2008, 215–218. (in Russ.)
- [62] Noskova L.P. Humic Substances of Brown Coal from the Sergeyevo Coalfield. *Chem. for Sustain. Develop*. 2019, 17, 61-65.
- [63] Kharybin T. A. Tekhnologiya polucheniya gumonovykh veshstv oksilennykh uglei [Technology of obtaining humic substances of oxidized coals]. *Sbornik materialov VI Mezhdunarodnoi nauchno-practicheskoi konferentsii = Collection of materials of the VI International Scientific and Practical Conference*. 2017, 10-12. (in Russ.)
- [64] Purygin P.P., Potapova I.A., Vorobiev D.V. Guminovyye kisloty: ikh vydeleniye, struktura i primeneniye v biologii, khimii i meditsine [Humic acids: their isolation, structure and application in biology, chemistry and medicine]. *Aktual'nyye problemy biologii, khimii i meditsiny = Actual problems of biology, chemistry and medicine*. 2014, 180-196. (in Eng.)
- [65] Skripkina T. S. Mekhanoximicheskaya modifikatsiya struktury gumonovykh kislot dlya polucheniya kompleksnykh sorbentov [Mechanochemical modification of the structure of humic acids for the production of complex sorbents]. *Nauchyi doklad ob osnovnykh rezul'tatax NKR = Scientific report on the main results of the SCR*. 2018, 24. (in Russ.)
- [66] Y. Guo, C. Ma, F. Hui, L. Wang. Humic acid extraction from weathered coal and its properties characterization. *Chinese Journal of Environmental Engineering*. 2017, 11(5), 3153-3160. (in Eng.)
- [67] Kairbekov Zh.K., Zhubanov K. A., Eshova Zh. T., Kairbekov A. Zh. Syntez gumonovykh kislot i ix solei iz burykh uglei. Metodicheskoe ukazanie k laboratornoi rabote [Synthesis of humic acids and their salts from brown coals. Guidelines for laboratory work]. *Kazakh Universiteti = Kazakh University*. 2000, 20. (in Russ.).



UDC 541.1+669.4'669.6

DOI: 10.31643/2021/6445.10



IRSTI 53.37.35

Thermodynamics of formation and evaporation of lead-tin alloys

¹Trebukhov S.A., ¹Volodin V.N., ²Ulanova O.V., ¹Nitsenko A.V., ^{1*}Burabaeva N.M.

¹Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Almaty, Kazakhstan

²"DHZ" AG, Swiss Confederation, Zurich, Switzerland

* Corresponding author email: nuri_eng@mail.ru, n.burabaeva@satbayev.university

Received: 31 January 2021
Peer-reviewed: 16 February 2021
Accepted: 10 March 2021

ABSTRACT

Only a few works have been devoted to thermodynamic studies of the lead-tin system by methods including the volatile components evaporation process. When the binary system is separated into metals by distillation, the volatile component is removed from the alloy and the low-volatile component accumulates in the bottom products, that is, there are alloy composition changes over the entire concentration range. It is necessary to know the boundaries position of the melt and vapor coexistence fields on the state diagram, especially for solutions beneficiated with non-volatile metal to assess the quality of the vapor phase by the content of the low-volatile component. In this regard, the study has been completed with the purpose to clarify the values of the thermodynamic functions of the formation and evaporation of lead-tin melts required to calculate the boundaries of the liquid and vapor coexistence fields on the state diagram that enables us to judge the amount of a low-volatile component in the vapor phase under equilibrium conditions. The thermodynamic activity of lead was calculated, as well as the numerical integration of the Gibbs-Duhem equation using the substitution proposed by Darken is the thermodynamic activity and pressure of saturated tin vapor. Based on the values of the saturated lead vapor pressure, determined by the boiling point method (isothermal version) for alloys predominantly of the lead edge of the phase diagram. The thermodynamic constants thus obtained will add to the base of physicochemical data and will be used to calculate the boundaries of the vapor-liquid equilibrium fields on the phase diagram, allowing to determine the possibility and completeness of the distillation separation of metals.

Keywords: Lead, tin, alloy, vapor pressure, thermodynamics, formation, mixing, evaporation, partial and integral quantities, entropy, enthalpy.

Information about authors:

Trebukhov Sergei Anatolevich

- Candidate of Technical Sciences, Almaty, Kazakhstan; - Deputy general director of Satbayev "University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation" JSC, Almaty, Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0001-9708-0307>, Email: vohubert@mail.ru

Volodin Valery Nikolaevich

- Chief scientific employee, The laboratory of vacuum processes, Doctor of physical and mathematical sciences, professor, doctor of technical sciences on specialty, professor of Satbayev "University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation" JSC, Almaty, Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0003-0116-1423>, Email: volodinv_n@mail.ru

Ulanova Olga Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Project manager for research and development «DHZ» AG, Swiss Confederation, Email: olga.ulanova@dhz.ch

Nitsenko Alina Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Vacuum Processes of Satbayev "University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation" JSC, Almaty, Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0001-6753-0936>, Email: nitc@inbox.ru

Burabaeva Nurila Muratovna

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of Satbayev "University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation" JSC, Almaty, Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0003-2183-2239>, Email: Nuri_eng@mail.ru

Introduction

The development of a vacuum-thermal technology for tin refining from lead impurities with subsequent industrial development [1-3] led to the emergence of a significant number of studies in the field of physical chemistry of lead-tin melts. Most of them are devoted to the study of thermodynamics and physical properties of the condensed phase.

The authors [4-11] have determined the thermodynamic functions of formation by various methods, [12-14] - the structure of melts and the associated effects of homogeneity and stratification.

Only a few papers are devoted to thermodynamic studies of the lead-tin system by methods including the process of evaporation of volatiles. The authors of the [4] paper conducted a

study of the thermodynamic properties of the lead-tin system in the entire range of alloy compositions at 730-790 °C based on the lead vapor pressure determined by the modified Knudsen method with the continuous weighing of the effusion cell. At the same time, the values of the lead activity were determined, and based on their thermodynamic functions of the components and solution, a conclusion about the molecular inhomogeneity in liquid alloys was made.

A physicochemical study of the evaporation process of the equimolar lead-tin alloy at 1,100 °C was performed in the [15] paper. The authors studied the dependence of the composition of the condensate on the evaporation time and found that the composition of the vapor above the solution and, therefore, the composition of the condensate is determined by the composition of the surface layer of the melt, which, in turn, depends on the atoms movement speed of the highly volatile component in the liquid alloy.

The thermodynamic study based on the values of the lead vapor pressure determined at 873-1,073 K by the method of evaporation from an open surface, was published in [16] paper. A positive deviation of the system from the law of ideal solutions was found, decreasing to the insignificant one with the temperature rising.

The values of the excess functions of the lead-tin system at 1,050 K, based on which it is possible to calculate the value of the saturated vapor pressure of the melt components under the assumption that the indicated constants are independent of temperature, are given in [17, 18].

Based on the results of all studies, as well as the refined values of the saturated vapor pressure of elemental tin and lead [19], it can be concluded that there are no technological difficulties in the distillation separation of alloys into separate metals.

However, during the development of technology to separate the multicomponent alloys, for example, metal concentrates from waste processing plants, during the distillation excreting of volatile metals (zinc, cadmium, lead) and the concentration of low volatile metals (copper, aluminum tin) in the bottoms, a noticeable amount of tin was found in the lead condensate.

When the binary system is separated into metals by distillation, the volatile component is removed from the alloy and the low-volatile accumulates in the bottom residue, that is, the availability of alloy composition changes over the entire concentration range. In order to assess the

quality of the vapor phase by the content of the low-volatile component, it is necessary to know the position of the boundaries of the fields of coexistence of the melt and vapor on the phase diagram, especially for solutions enriched by non-volatile metal.

In [20] paper, based on the results of the study [16] at 873-1,073 K (600-800 °C), a calculation was performed and the phase diagram of the lead-tin system with fields of vapor-liquid equilibrium at atmospheric pressure, 100 and 10 Pa, does not correspond, however, to the cause of the increased tin content in the condensate.

The processes of distillation separation of alloys and refining of metals of the specified system occur at temperatures of 1,000-1,350 °C (1,273-1,623 K) and extrapolation of the vapor pressure values to the indicated temperatures could lead to inaccuracies in the calculations.

In this regard, a study aimed at clarifying the values of the thermodynamic functions of the formation and evaporation of lead-tin melts, which are necessary to calculate the boundaries of the fields of coexistence of liquid and vapor on the phase diagram, which is indicative of the amount of a low-volatile component in the vapor phase under equilibrium conditions.

Study object, research methods, and calculation methods

As an object of research, we used lead-tin alloys of predominantly lead edge of the phase diagram with contents of 93.93, 88.42, 83.08, 70.59, 50.65, and 30.87 at. % (96.43, 93.02, 89.55, 80.73, 64.18 and 43.80 wt. %) Pb, and the rest is tin.

The alloys were prepared by fusing metals in evacuated quartz ampoules with heating at 100 °C above the liquidus temperature, holding at this temperature for 2 hours and stirring with shaking, followed by quenching in water. Alloys were prepared using lead, 99.999 wt. % and tin, 99.99 wt. % of the principal element.

The partial thermodynamic mixing functions was the basis to find the activity value, defined as the ratio of the partial pressure of the component over the solution to the value of the saturated vapor pressure over the elemental metal: $a_i = \bar{p}_i / p_i^o$

where: a_i is thermodynamic activity; \bar{p}_i is the partial pressure of steam; i is component; p_i^o is the saturated vapor pressure of the same component over the elemental metal.

The boiling point method (isothermal version) described in detail earlier [21] was used to determine the value of the saturated vapor pressure, the method is based on the significant increase in the evaporation rate when the external pressure and the saturated vapor pressure of the test substance are equal with a decrease in pressure above the melt at a given temperature.

Since the vapor pressure of elemental lead at temperatures of 1,200 – 1,300 °C (1,473 – 1,573 K) according to [19] is (3.5 - 6.5) 10⁴ times higher than the tin vapor pressure, it was considered that the total vapor pressure determined by the boiling point method corresponds to the saturated lead vapor pressure. Argon was used as a volume filler gas in the boiling point method.

The partial free energy of alloy formation was calculated as $\Delta\bar{G}_i^{mix} = RT \ln a_i$;

partial entropy of mixing – $(\partial\Delta\bar{G}_i^{mix} / \partial T)_p = -\Delta\bar{S}_i^{mix}$;

partial enthalpy – $\Delta\bar{H}_i^{mix} = \Delta\bar{G}_i^{mix} + T \cdot \Delta\bar{S}_i^{mix}$.

From now on: $\Delta\bar{G}_i^{mix}$, $\Delta\bar{S}_i^{mix}$, $\Delta\bar{H}_i^{mix}$ – partial free energy, partial entropy, and partial enthalpy of mixing is component, respectively. From now on, T is the temperature, K.

Integral mixing functions are calculated as the sum of the fractions of partial values.

Tin activity was found from the expression

$a_{Sn} = \gamma_{Sn} \cdot x_{Sn}$, tin activity coefficient (γ_{Sn}) by numerical integration of the Gibbs-Duhem equation using the auxiliary function proposed by Darken [22]:

$$\ln \gamma_{Sn} = -\frac{\ln \gamma_{Pb} \cdot x_{Pb} \cdot x_{Sn}}{x_{Sn}^2} + \int_{x_{Pb}=0}^{x_{Pb}} \frac{\ln \gamma_{Pb}}{(1-x_{Pb})^2} dx_{Pb} \quad \text{and}$$

then the partial functions of tin mixing during alloy formation.

The partial free energy of evaporation is determined based on the values of the partial pressure of the saturated vapor of the melt components as:

$$\Delta\bar{G}_i^{evap} = -RT \ln \bar{p}_i[atm], \quad \text{and entropy and enthalpy are similar to those in the formation of an alloy.}$$

The temperature dependences of the activity (a_{Pb}) and the partial pressure of lead vapor (\bar{P}_{Pb}) for each of the compositions were described by

Arrhenius type equations. Then by approximating the dependence of the coefficients in the equations on the concentration of lead (x_{Pb}) in the alloy, we obtained the temperature-concentration dependence of the activity (a_{Sn}) and the partial pressure of tin vapor (\bar{P}_{Sn}).

The error in determining the thermodynamic constants is taken to be equal to the error in determining the values of the saturated lead vapor pressure, as the sum of the errors of independent measurements, %: temperature - 1; weighing - 0.1; pressure 0.5; approximation of experimental data - 6.18, equal to 7.78.

Results and its discussion

The coefficients of the equations of the dependence of the saturated lead vapor pressure on temperature for each of the alloy compositions are given in Table 1, for each of the alloy compositions are given in Table 1, where the vapor pressure of the lead itself was determined by us earlier [23].

Table 1 - Coefficients of the equation of the dependence of the partial lead vapor pressure on temperature

Lead content in the alloy:		$\ln \bar{p}_{Pb}[IIa] = \frac{A}{T} + B$	
atom. %	mass. %	A	B
100	100	-22165	22.521
93.93	96.43	-22216	22.490
88.42	93.02	-22291	22.475
83.08	89.55	-22388	22.469
70.59	80.73	-22705	22.493
50.65	64.18	-23458	22.606
30.87	43.80	-24476	22.725

The partial pressure of saturated lead vapor for the entire concentration range of the Pb - Sn system is represented by the expression:

$$\ln \bar{p}_{Pb}[IIa] = (-708x_{Pb}^3 - 2368x_{Pb}^2 + 743x_{Pb} - 26525) \cdot T^{-1} + 0,197x_{Pb}^3 + 1,884x_{Pb}^2 - 4,737x_{Pb} + 25,177 + \ln x_{Pb},$$

tin corresponds to the dependence:

$$\ln \bar{p}_{Sn}[IIa] = (708x_{Sn}^3 - 5554x_{Sn}^2 + 8408x_{Sn} - 39759 + 576 \ln x_{Sn}) \cdot T^{-1} - 0,197x_{Sn}^3 + 2,77x_{Sn}^2 - 4,572x_{Sn} + 26,085 + 0,622 \ln x_{Sn}$$

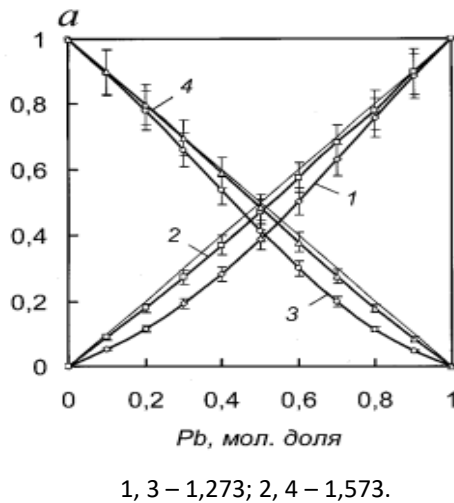


Figure 1 - Isoactivities of lead (1, 2) and tin (3, 4) at temperature, K

The isoactivities of lead and tin at the boundary temperatures of processing polymetallic raw materials [1,000 – 1,300 °C (1,273 – 1,573 K)] are shown in Figure 1. The system, in contrast to the research data [16], is characterized by a slight negative deviation from the law of ideal solutions, which indicates some interaction between dissimilar metals in liquid form. The dependence of the activity coefficients of lead and tin depends little on temperature, and at 1,573 K (1,300 °C) the system is close to ideal.

The concentration dependences of the partial and integral entropies and enthalpies of mixing of lead-tin solutions are shown in Figures 2 and 3.

The integral entropy of mixing in the lead-tin system differs significantly from that for an ideal system, both in magnitude and in sign. This indicates a negative value of the excess function. The enthalpy of mixing is negative in the entire range of melt concentrations, therefore, the solutions are formatted exothermic, with the release of heat.

The integral entropy of alloy formation is approximated by the expression:

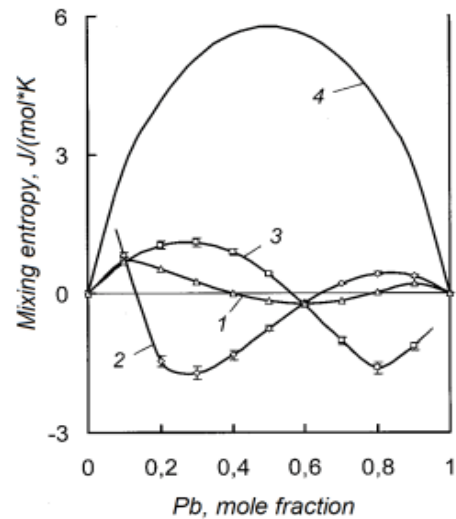
$$\Delta S_{Pb-Sn}^{mix} = -32,135x_{Pb}^4 + 69,807x_{Pb}^3 -$$

$$- 47,627 x_{Pb}^2 + 9,955 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K}),$$

enthalpy –

$$\Delta H_{Pb-Sn}^{mix} = 9,464x_{Pb}^3 + 25,607x_{Pb}^2 - 35,071, \text{ kJ/mol}$$

The values of the thermodynamic functions of evaporation of lead-tin system alloys are summarized in Table 2.



1 – integral; 2 – lead; 3 – tin; 4 – for an ideal system

Figure 2 – Integral (1, 4) and partial (2, 3) entropies of mixing in the lead-tin system.

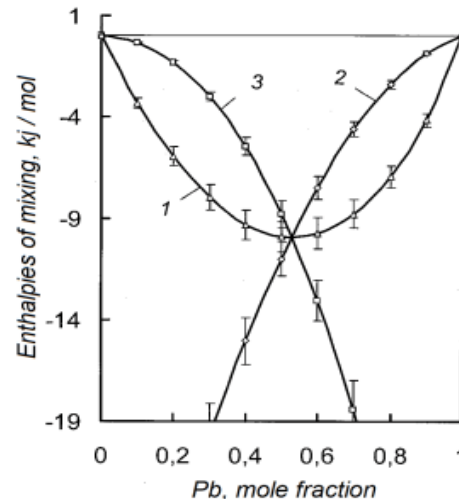


Figure 3 – Integral (1) and partial (2,3) enthalpies of mixing in the lead-tin system

The partial entropies of lead and tin evaporation constant within the experimental error in the entire range of alloy concentrations. The partial enthalpy of metals evaporation is expected to increase as the concentration of each of the constituents in the system decreases. Integral functions are described by concentration equations:

$$\Delta S_{Pb-Sn}^{evap} = -7,215x_{Pb}^3 + 10,499x_{Pb}^2 - 16,549x_{Pb} + 104,43 \text{ J}/(\text{mol K}) \text{ and}$$

$$\Delta H_{Pb-Sn}^{evap} = -38,599x_{Pb}^2 - 77,535x_{Pb} + 300,95 \text{ kJ/mol.}$$

The values of saturated vapor pressure and thermodynamic constants obtained in this way are used to construct a complete phase diagram,

Table 2 – Partial and integral entropies and enthalpies of formation and evaporation of lead-tin alloys

Alloy composition, mol. share.		$\Delta \bar{S}_{Pb}^{evap}$, J/(mol K)	$\Delta \bar{S}_{Sn}^{evap}$, J/(mol K)	ΔS_{Pb-Sn}^{evap} , J/(mol K)	$\Delta \bar{H}_{Pb}^{evap}$, kJ/mol	$\Delta \bar{H}_{Sn}^{evap}$, kJ/mol	ΔH_{Pb-Sn}^{evap} , kJ/mol
Pb	Sn						
1.0	0	91.42±7.11	-	91.42±7.11	184.29±14.34	-	184.29±14.34
0.9	0.1	91.06±7.08	105.57±8.21	92.51±7.20	185.13±14.40	335.06±26.07	200.12±15.57
0.8	0.2	91.00±7.08	106.03±8.25	94.00±7.31	186.69±14.52	326.09±25.37	214.57±16.69
0.7	0.3	91.20±7.10	105.45±8.20	95.48±7.42	188.93±14.70	319.36±24.85	228.06±17.74
0.6	0.4	91.61±7.13	104.69±8.14	96.84±7.53	191.80±14.92	314.00±24.43	240.68±18.72
0.5	0.5	92.16±7.17	104.01±8.09	98.09±7.63	195.28±15.19	309.74±24.10	252.51±19.64
0.4	0.6	92.74±7.22	103.54±8.06	99.22±7.72	199.33±15.51	306.42±23.84	263.58±20.51
0.3	0.7	93.13±7.25	103.32±8.04	100.26±7.80	203.92±15.86	303.95±23.65	273.94±21.31
0.2	0.8	92.88±7.23	103.39±8.04	101.29±7.88	209.00±16.26	302.25±23.52	283.60±22.06
0.1	0.9	90.58±7.05	103.75±8.07	102.43±7.97	214.56±16.69	301.27±23.44	292.60±22.76
0	1.0	-	104.43±8.12	104.43±8.12	-	300.95±23.44	300.95±23.44

including the fields of coexistence of melt and vapor at atmospheric pressure and in a vacuum.

The partial entropies of evaporation of lead and tin are constant within the experimental error in the entire range of alloy concentrations.

The partial enthalpy of vaporization of metals is expected to increase as the concentration of each of the components in the system decreases.

Integral functions are described by concentration equations:

$$\Delta S_{Pb-Sn}^{evap} = -7,215x_{Pb}^3 + 10,499x_{Pb}^2 - 16,549x_{Pb} + 104,43 \text{ J / (mol K) and}$$

$$\Delta H_{Pb-Sn}^{evap} = -38,599x_{Pb}^2 - 77,535x_{Pb} + 300,95 \text{ kJ/mol.}$$

Conclusions. As a result of the study conducted by the boiling point method at processing temperatures of metal concentrates from garbage processing, the values of the saturated vapor pressure of lead and its thermodynamic activity were determined, based on which the partial and integral entropies and enthalpies of formation of

evaporation of liquid lead-tin alloys were calculated using known methods.

The values of saturated vapor pressure and thermodynamic constants produced in this way are used to construct a complete phase diagram, including the fields of coexistence of melt and vapor at atmospheric pressure and in a vacuum.

Similar works [24-28], performed at the Institute earlier, showed the practical significance and technological relevance.

Conflicts of interest

On behalf of all authors, the corresponding author states that there is no conflict of interest.

Acknowledgment

This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (grant AR 08855494-OT-20).

Cite this article as: Trebukhov S. A., Volodin V. N., Ulanova O. V., Nitsenko A. V., Burabaeva N. M. Thermodynamics of formation and evaporation of lead-tin alloys. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu.* 2021. № 1 (316), pp. 82-90. <https://doi.org/10.31643/2021/6445.10>

Қорғасын-қалайы қорытпаларының түзілуі мен булануының термодинамикасы

¹Требухов С.А., ¹Володин В.Н., ²Уланова О.В., ¹Ниценко А.В., ^{1*}Бурабаева Н.М.

¹Satbayev University, «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, Алматы, Қазақстан
²²«DHZ» AG, Цюрих, Швейцария

* Автордың электрондық поштасы: nuri_eng@mail.ru, n.burabaeva@satbayev.university

<p><i>Мақала келді: 31 қаңтар 2021</i> <i>Рецензенттен өтті: 16 ақпан 2021</i> <i>Қабылданды: 10 наурыз 2021</i></p>	<p>ТҮЙІНДЕМЕ</p> <p>Құрамындағы ұшатын құраушыларының (компоненттерінің) булану процесінен тұратын әдістермен қорғасын-қалайы жүйесін термодинамикалық зерттеулерге бірнеше жұмыстар ғана арналған. Қос жүйені дистилляция әдісімен металдарға бөлгенде, ұшатын компонент қорытпадан шығарылады және аз ұшатын компонент төменгі қалдықта жиналады, яғни қорытпа құрамы бүкіл концентрация ауқымында өзгереді. Бу фазасының сапасын аз ұшқыш компоненттің мөлшері бойынша бағалау үшін балқыманың және будың қатар жүретін өрістерінің күй диаграммасындағы шекаралық орнын, әсіресе ұшпайтын металдармен байытылмаған ерітінділер үшін орналасуын, білу қажет. Осыған байланысты қорғасын-қалайы балқымаларының пайда болуы мен булануының термодинамикалық функцияларының мәндерін нақтылау мақсатында зерттеу жүргізілді, олар күй диаграммасындағы сұйықтық пен будың бірге болатын жағдайдағы өрістерінің шекараларын есептеу үшін қажет тепе-теңдік жағдайында бу фазасындағы аз ұшқыш компоненттің мөлшерін анықтауға мүмкіндік береді. Күй диаграммасының негізінен қорғасын орналасқан жағындағы қорытпалар үшін қайнау температурасы әдісімен (изотермиялық нұсқа) анықталған қорғасынның қаныққан бу қысымының мәндеріне сүйене отырып, қорғасынның термодинамикалық белсенділігі есептелді және Даркен ұсынған алмастыруды қолданатын Гиббс-Дюхем теңдеуін сандық интегралдау арқылы қалайының термодинамикалық белсенділігі мен қаныққан бу қысымы есептелді. Осылайша алынған термодинамикалық тұрақтылар физикалық-химиялық мәліметтерді толықтырады және фазалық диаграмма бойынша бу-сұйықтық тепе-теңдік өрістерінің шекараларын есептеу үшін пайдаланылатын болады, бұл металдарды дистилляциялық бөлудің мүмкіндіктері мен толықтығын анықтауға мүмкіндік береді.</p> <p>Түйінді сөздер: Қорғасын, қалайы, қорытпа, бу қысымы, термодинамика, пайда болу, араласу, булану, парциальді және интегралды шамалары, энтропия, энтальпия.</p>
<p>Требухов Сергей Анатольевич</p>	<p>Авторлар туралы ақпарат:</p> <p>- Техникалық ғылымдар кандидаты, Satbayev University «Металлургия және кен байыту институты» бас директорның орынбасары, Алматы, Қазақстан; https://orcid.org/0000-0001-9708-0307, Email: vohubert@mail.ru</p>
<p>Володин Валерий Николаевич</p>	<p>- Бас ғылыми қызметкер, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, техникалық ғылымдар докторы, профессор. Satbayev University «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; https://orcid.org/0000-0003-0116-1423, Email: volodinv_n@mail.ru</p>
<p>Уланова Ольга Владимировна</p>	<p>- Кандидат технических наук, зерттеулер және даму жөніндегі жобаларының жетекшісі «DHZ» AG, Швейцария, Email: olga.ulanova@dhz.ch</p>
<p>Ниценко Алина Владимировна</p>	<p>- Техникалық ғылымдар кандидаты, Satbayev University «Металлургия және кен байыту институты». Вакуумдық процестер зертханасының меңгерушісі. Satbayev University «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; https://orcid.org/0000-0001-6753-0936, Email: nitc@inbox.ru</p>
<p>Бурабаева Нурида Муратовна</p>	<p>- Техникалық ғылымдар кандидаты, Satbayev University «Металлургия және кен байыту институты». Аға ғылыми қызметкері. Satbayev University «Металлургия және кен байыту институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; https://orcid.org/0000-0003-2183-2239, Email: Nuri_eng@mail.ru</p>

Термодинамика образования и испарения свинцово-оловянных сплавов

¹Требухов С.А., ¹Володин В.Н., ²Уланова О.В., ¹Ниценко А.В., ¹Бурабаева Н.М.

¹ Satbayev University, Институт металлургии и обогащения, Алматы, Казахстан

² «DHZ» AG, Swiss Confederation, Цюрих, Швейцария

* Электронная почта автора: nuri_eng@mail.ru, n.burabaeva@satbayev.university

<p><i>Статья поступила: 31 января 2021</i> <i>Рецензирование: 16 февраля 2021</i> <i>Принята в печать: 10 марта 2021</i></p>	<p>АННОТАЦИЯ</p> <p>Термодинамическим исследованиям системы свинец – олово методами, включающими процесс испарения летучих составляющих, посвящено лишь несколько работ. При разделении двойной системы на металлы дистилляцией происходит удаление летучего компонента из сплава и накопление мало летучего в кубовом остатке, то есть имеет место изменение состава сплава во всем интервале концентраций. Для оценки качества паровой фазы по содержанию мало летучего компонента необходимо знание положения границ полей сосуществования расплава и пара на диаграмме состояния, особенно для растворов, обогащенных не летучим металлом. В этой связи, выполнено исследование, имеющее целью уточнение величин термодинамических функций образования и испарения свинцово-оловянных расплавов, необходимых для расчета границ полей сосуществования жидкости и пара на диаграмме состояния, позволяющих судить о количестве мало летучего компонента в паровой фазе в равновесных условиях. На основании величин давления насыщенного пара свинца, определенного методом точек кипения</p>
--	---

	(изотермический вариант) для сплавов преимущественно свинцового края диаграммы состояния, рассчитана термодинамическая активность свинца, а также численным интегрированием уравнения Гиббса-Дюгема с использованием подстановки, предложенной Даркеном, - термодинамическая активность и давление насыщенного пара олова. Полученные, таким образом, термодинамические константы пополняют базу физико-химических данных и будут использованы для расчета границ полей парожидкостного равновесия на диаграмме состояния, позволяющих определить возможность и полноту дистилляционного разделения металлов.
	Ключевые слова: Свинец, олово, сплав, давление пара, термодинамика, образование, смешение, испарение, парциальные и интегральные величины, энтропия, энтальпия.
Требухов Сергей Анатольевич	Информация об авторах: - Кандидат технических наук, Заместитель генерального директора Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан; https://orcid.org/0000-0001-9708-0307 , Email: vohubert@mail.ru
Володин Валерий Николаевич	- Главный научный сотрудник лаборатории вакуумных процессов, доктор физико-математических наук, профессор, доктор технических наук, профессор Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан; https://orcid.org/0000-0003-0116-1423 , Email: volodinv_n@mail.ru
Уланова Ольга Владимировна	Кандидат технических наук, Руководитель проектов по исследованию и развитию «DHZ» AG, Цюрих, Швейцария, Email: olga.ulanova@dhz.ch
Ниценко Алина Владимировна	Кандидат технических наук, заведующая лабораторией вакуумных процессов Satbayev University АО «Институт металлургии и обогащения, Алматы, Казахстан; https://orcid.org/0000-0001-6753-0936 , Email: nitc@inbox.ru
Бурбаева Нурила Муратовна	Кандидат технических наук, старший научный сотрудник Satbayev University АО «Институт металлургии и обогащения, Алматы, Казахстан; https://orcid.org/0000-0003-2183-2239 , Email: Nuri_eng@mail.ru

Литература

- [1] Кунаев А.М., Кожаметов С.М., Ванюков А.В., Польшанский И.Р., Зазубин А.И., Есютин В.С. Основы комплексного использования сырья цветной металлургии (Теория, технология и освоение новых металлургических процессов). - Алма-Ата: Наука, 1982. - С.363-373.
- [2] Guo-bin JIA, Bin YANG, Da-chun LIU. Deeply removing lead from Pb-Sn alloy with vacuum distillation. Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 2013. No. 23. P. 1822-1831. DOI: 10.1016/S1003-6326(13)62666-7
- [3] DAI Yong-nian, YANG Bin. Vacuum metallurgy of non-ferrous metals. Beijing: Metallurgical Industry Press. 2000. 55-57.
- [4] Воронин Г.Ф., Евсеев А.М. Термодинамические свойства жидких сплавов свинца и олова // Журнал физической химии. - 1959. - Т.33. № 10. - С.2245-2248.
- [5] Kendall W.B., Hultgren R. Thermodynamics of the Lead-tin System // Journal of Physical Chemistry. - 1959. - Vol.63. № 7. - P.1158-1160. doi.org/10.1021/j150577a031
- [6] Mishra G., Kumar Rajendra. Heat contents and heat capacities of liquid lead-tin alloys // Transactions- Indian Institute of Metals. - 1967. - Vol. 20. № 3. - P.49-52.
- [7] Neumann T., Wöstmann H. Thermodyna-mische Daten der Blei-Zinn-Legierungen und der hypothetischen Umwandlung des tetragonalen Zinn in die kubisch flächenzentrierte Modifikation // Zeitschrift für Metallkunde. - 1972. - Bd.63. H.6. - P.332-341.
- [8] Das S.K., Ghosh A. Thermodynamic Measurements in Molten Pb-Sn Alloys // Metal. Trans. - 1972. - V.3. №4. - P.803-806. <https://doi.org/10.1007/BF02647652>
- [9] Бушманов В.Д. Определение теплот смешения в высокотемпературном калориметре // Физико-химические исследования жидких металлов и сплавов. Труды УНЦ АН СССР. 1974. №29. С.93-97.
- [10] Khanna K., Singh P. Entropy of mixing of liquid metal alloys // Phys. - 1982. Vol. BC114. № 2. - P.174-180.
- [11] Sugimoto Eisuke, Kuwata Shigeki, Kozuka Zensaku. Измерение активности в сплавах Pb-Sn и Pb-Sb методом э.д.с. с помощью ZrO₂(Y₂O₃) при низких температурах // Journal of the Mining and Metallurgical Institute of Japan. -1982. - Vol.98. № 1131. - P.429-435.
- [12] Попель П.С., Преснякова Е.Л., Павлов В.А., Архангельский Е.Л. Область существования метастабильной квазиэвтектической структуры в системе Sn-Pb // Изв. АН СССР. Металлы. - 1985. № 4. - С.198-201.
- [13] Попель П.С., Преснякова Е.Л., Павлов В.А., Архангельский Е.Л. О происхождении микрорасслоения эвтектических сплавов Sn-Pb в жидком состоянии // Металлы. - 1985. № 2. - С.53-56.
- [14] Попель П.С., Демина Е.Л., Архангельский Е.Л. Плотность и удельное электросопротивление расплавов Sn-Pb в

- гомогенном и микрорасслоенном состояниях // Изв. АН СССР. Метал-лы. - 1987. № 3. - С.52-58.
- [15] Палатник Л.С., Федоров Г.В., Богатов Н.П. О характере испарения и конденсации сплава Pb-Sn // Физика металлов и металловедение. - 1966. - Т.21. № 5. - С704-707.
- [16] Chen Wen, Ye Daluen, Huang Zhijiao, Huang Weishen, Ling Heging, Duan Zhigie. Thermodynamic Properties of the Lead-Tin System // Kunming University of Science and Technology. - 1991. - Vol. 16. № 1. - P.34-40.
- [17] Hultgren R., Orr R.L., Anderson P.D., Kelley K.K. Selected Values of Thermodynamic Properties of Metals and Alloys. John Wiley: New York. - 1963. 577 p. doi.org/10.1002/ange.19650771039
- [18] Yong Nian Dai, Bing Yang. Vacuum Metallurgy of Non-Ferrous Metals. Beijing: Metallurgical Ind. Press. - 2000. Vol.3. - P.516-543.
- [19] Малышев В.П., Турдукожаева А.М., Оспанов Е.А., Саркенов Б. Испаряемость и кипение простых веществ. М.: Научный мир. - 2010. - С.293-298.
- [20] Володин В.Н. Фазовый переход жидкость-пар в двойных системах свинца при низком давлении. Караганда: Арко, - 2012. - С.153-158.
- [21] Volodin V.N., Tuleushev Yu.Zh. The Liq-uid-Vapor Phase Transition in a Copper-Calcium System// Russian Journal of Physical Chemistry A. - 2020. - Vol.94. No.7. - P.1300-1305. Doi: 10.1134/S0036024420070304
- [22] Darken L.S., Gurry R.W. Physical chemistry of Metals. New York, Toronto, London, McGraw-Hill Book Company, INC. 1953. 570 p.
- [23] Volodin V.N. Liquid-Vapor Phase Transi-tion upon Pressure Decrease in the Lead-Bismuth System// Russian Journal of Physical Chemistry A. - 2009. - Vol.83. No.11. - P.1993-1995. DOI:10.1134/S0036024409110326.
- [24] Volodin V. N., Tuleushev Y. Zh., Kenzhaliyev B. K., Trebukhov S. A. Thermal degradation of hard alloys of the niobium-cadmium system at low pressure // Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. № 1 (312), 2020. pp. 41-47. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.05>
- [25] Beisembetov, I.K., Nusupov, K.K., Beisenkhanov, N.B. et al. Synthesis of SiC thin films on Si substrates by ion-beam sputtering. J. Synch. Investig. 9, 392–399 (2015). <https://doi.org/10.1134/S1027451015010267>
- [26] Volodin, V.N., Trebukhov, S.A., Kenzhaliyev, B.K., Nitsenko, A.V., Burabaeva, N.M. Melt–Vapor Phase Diagram of the Te–S System. Russian Journal of Physical Chemistry A. Vol. 92, Iss. 3. Pages 407-410. DOI: 10.1134/S0036024418030330
- [27] Володин В.Н., Тулеушев Ю.Ж., Ниценко А.В., Бурабаева Н.М. Размерный эффект при формировании сплава ниобия с кадмием ультратонкими частицами при низкой температуре. Комплексное использование минерального сырья. 2018. No. 4. С. 44-50. <https://doi.org/10.31643/2018/6445.35>
- [28] Volodin V.N., Tuleushev Yu.Zh., Nitsenko A.V., Burabaeva N.M. Concentration limits of niobium and cadmium alloys existence, formed by ultrafine particles. Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a [Complex Use of Mineral Resources]. 2019. 1. 30-36. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.04>

Reference

- [1] Kunaev A.M., Kozhahmetov S.M., Vanjukov A.V., Polyvjannyj I.R., Zazubin A.I., Esjutin V.S. Osnovy kompleksnogo ispol'zovanija syr'ja cvetnoj metallurgii (Fundamentals of the integrated use of raw materials in non-ferrous metallurgy). Teorija, tehnologija i osvoenie novyh metallurgicheskix processov = Theory, technology, and development of new metallurgical processes. Alma-Ata: Nauka. 1982. 363-373. (in Russ.).
- [2] Guo-bin JIA, Bin YANG, Da-chun LIU. Deeply removing lead from Pb–Sn alloy with vacuum distillation. Trans. Nonferrous Met. Soc. China. 2013. 23. 1822–1831. (in Eng.). DOI: 10.1016/S1003-6326(13)62666-7
- [3] DAI Yong-nian, YANG Bin. Vacuum metallurgy of non-ferrous metals. Beijing: Metallurgical Industry Press. 2000. 55–57. (in Chinese).
- [4] Voronin G.F., Evseev A.M. Termodinami-cheskie svojstva zhidkih splavov svinca i olova (Thermodynamic properties of liquid lead and tin alloys). Zhurnal fizicheskoj khimii = Journal of Physical Chemistry. 1959. 33, 10. 2245-2248. (in Russ.).
- [5] Kendall W.B., Hultgren R. Thermodynamics of the Lead-tin System. Journal of Physical Chemistry 1959, 63, 7. 1158-1160. (in Eng.). doi.org/10.1021/j150577a031
- [6] Mishra G., Kumar Rajendra. Heat contents and heat capacities of liquid lead-tin alloys. Transactions - Indian Institute of Metals. 1967. 20, 3. 49-52. (in Eng.).
- [7] Heumann T., Wöstmann H. Thermodyna-mische Daten der Blei-Zinn-Legierungen und der hypothetischen Umwandlung des tetragonalen Zinn in die kubisch flächenzentrierte Modifikation. Zeitschrift für Metallkunde. 1972. 63, 6. 332-341. (in Eng.).
- [8] Das S.K., Ghosh A. Thermodynamic Meas-urements in Molten Pb-Sn Alloys. Metallurgical and Materials Transactions. 1972. 3, 4. 803-806. (in Eng.). <https://doi.org/10.1007/BF02647652>

- [9] Bushmanov V.D. Opredelenie teplot sme-shenija v vysokotemperaturnom kalorimetre. Fiziko-himicheskie issledovanija zhidkih metallov i splavov (Determination of heats of mixing in a high-temperature calorimeter). Ural'skij nauchnyj centr AN SSSR = Proceedings of the Ural Scientific Center of the USSR Academy of Sciences. 1974. 29. 93-97. (in Russ.).
- [10] Khanna K., Singh P. Entropy of mixing of liquid metal alloys. Phys. 1982. 114, 2. 174-180. (in Eng.). doi.org/10.1016/0378-4363(82)90034-1
- [11] Sugimoto Eisuke, Kuwata Shigeiki, Kozuka Zensaku. Izmerenie aktivnosti v splavah Pb-Sn i Pb-Sb metodom je.d.s. s pomoshh'ju $ZrO_2(Y_2O_3)$ pri nizkih temperaturah (Measurement of activity in Pb-Sn and Pb-Sb alloys by the electromotive force method with $ZrO_2(Y_2O_3)$ at low temperatures). Journal of the Mining and Metallurgical Institute of Japan. 1982. 98, 1131. 429-435. (in Russ.).
- [12] Popel' P.S., Presnjakova E.L., Pavlov V.A., Arhangel'skij E.L. Oblast' sushhestvovanija metastabil'noj kvazijevtekticheskoj struktury v sisteme Sn-Pb (The region of existence of a metastable quasieutectic structure in the Sn-Pb system). Izvetija Akademii nauk SSSR = Bulletin of the USSR Academy of Sciences. Metally. 1985. 4. 198-201. (in Russ.).
- [13] Popel' P.S., Presnjakova E.L., Pavlov V.A., Arhangel'skij E.L. O proishozhdenii mikrorassloenija jevtekticheskikh splavov Sn-Pb v zhidkom sostojanii (On the origin of micro-layering of eutectic Sn-Pb alloys in a liquid state). Metally = Metals. 1985. 2. 53-56. (in Russ.).
- [14] Popel' P.S., Demina E.L., Arhangel'skij E.L. Plotnost' i udel'noe jelektrosoprotivlenie rasplavov Sn-Pb v gomogenom i mikroras-sloennom sostojanijah (Density and electrical resistivity of Sn-Pb melts in homogeneous and micro-layered states). Izvetija Akademii nauk SSSR. Metally. = Bulletin of the USSR Academy of Sciences. Metals. 1987. 3. 52-58. (in Russ.).
- [15] Palatnik L.S., Fedorov G.V., Bogatov N.P. O karaktere isparenija i kondensacii splava Pb-Sn (On the nature of evaporation and condensation of the Pb-Sn alloy). Fizika metallov i metallovedenie = Physics of metals and metal science. 1966. 21. 5. 704-707. (in Russ.).
- [16] Chen Wen, Ye Daluen, Huang Zhijiao, Huang Weishen, Ling Heging, Duan Zhigie. Ther-modynamic Properties of the Lead-Tin System. Kunming University of Science and Technology. 1991. 16. 1. 34-40. (in Eng.).
- [17] Hultgren R., Orr R.L., Anderson P.D., Kelley K.K. Selected Values of Thermodynamic Properties of Metals and Alloys. John Wiley. New York. 1963. 577. (in Eng.). doi.org/10.1002/ange.19650771039
- [18] Yong Nian Dai, Bing Yang. Vacuum Metal-lurgy of Non-Ferrous Metals. Beijing: Metallurgical Ind. Press. 2000. 3. 516-543. (in Eng.).
- [19] Malyshev V.P., Turdukozhaeva A.M., Ospanov E.A., Sarkenov B. Isparjaemost' i kipenie prostyh veshhestv (Evaporation and boiling of simple substances). M.: Nauchnyj mir. 2010. 293-298. (in Russ.).
- [20] Volodin V.N. Fazovyj perehod zhidkost'-par v dvojnnyh sistemah svinca pri nizkom davlenii (Liquid-vapor phase transition in binary systems of lead at low pressure). Karaganda: Arko. 2012. 153-158. (in Russ.).
- [21] Volodin V.N., Tuleushev Yu.Zh. The Liq-uid-Vapor Phase Transition in a Copper-Calcium System. Russian Journal of Physical Chemistry A. 2020. 94. 7. 1300-1305. Doi: 10.1134/S0036024420070304 (in Eng.).
- [22] Darken L.S., Gurry R.W. Physical chemistry of Metals. New York, Toronto, London, McGraw-Hill Book Company. 1953. 570. doi.org/10.1002/ange.19540660409. (in Eng.).
- [23] Volodin V.N. Liquid-Vapor Phase Transi-tion upon Pressure Decrease in the Lead-Bismuth System. Russian Journal of Physical Chemistry A. 2009. 11. 1993-1995. DOI:10.1134/S0036024409110326. (in Eng.).
- [24] Volodin V. N., Tuleushev Y. Zh., Kenzhaliyev B. K., Trebukhov S. A. Thermal degradation of hard alloys of the niobium-cadmium system at low pressure // Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a [Complex Use of Mineral Resources]. № 1 (312), 2020. pp. 41-47. https://doi.org/10.31643/2020/6445.05 (in Eng.).
- [25] Beisembetov, I.K., Nusupov, K.K., Beisenkhanov, N.B. et al. Synthesis of SiC thin films on Si substrates by ion-beam sputtering. J. Synch. Investig. 9, 392–399 (2015). https://doi.org/10.1134/S1027451015010267 (in Eng.).
- [26] Volodin, V.N., Trebukhov, S.A., Kenzhaliyev, B.K., Nitsenko, A.V., Burabaeva, N.M. Melt-Vapor Phase Diagram of the Te-S System. Russian Journal of Physical Chemistry A. 2018 92, 3. 407-410. DOI: 10.1134/S0036024418030330 (in Eng.).
- [27] Volodin V.N., Tuleushev Ju.Zh., Nitsenko A.V., Burabaeva N.M. Razmernyj jeffekt pri formirovanii splava niobija s kadmiem ul'tradis-persnymi chasticami pri nizkoj temperature (Dimensional effect in the formation of an alloy of niobium with cadmium by ultrafine particles at low temperature). Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a [Complex Use of Mineral Resources]. 2018. 4. 44-50. https://doi.org/10.31643/2018/6445.35 (in Russ.).
- [28] Volodin V.N., Tuleushev Yu.Zh., Nitsenko A.V., Burabaeva N.M. Concentration limits of niobium and cadmium alloys existence, formed by ultrafine particles. Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a [Complex Use of Mineral Resources]. 2019. 1. 30-36. https://doi.org/10.31643/2019/6445.04 (in Eng.).



UDC 621.742.4

DOI: 10.31643/2021/6445.11



IRSTI 53.81.37

Study of thermal resistance of cold mixtures with clay addition

^{1*} Alina A.A., ¹ Kulikov V.Y., ² Kovalev P.V., ¹ Dostayeva A.M.

¹ Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia

* Corresponding author email: altynbekovna_21@mail.ru

Received: 03 February 2021

Peer-reviewed: 24 February 2021

Accepted: 12 March 2021

ABSTRACT

The article analyzes the results of heat resistance of cold-harmful mixtures with the addition of clay. The article presents the results of an experimental laboratory study of the properties of samples from CTS, obtained by various methods. The scientific novelty of the technology lies in the fact that the technology of casting in cold-rolled steel ensures high quality of the casting surface, the absence of gas defects and blockages in the casting. The selection of the composition and technological parameters for the manufacture of the mold, contributing to the production of high-quality defect-free castings, will significantly reduce their cost, which will have a positive effect on the economy of our country. The study of the change in density over time depending on the applied load was studied in a series of experiments. The density of the mixture was determined every thirty seconds during the entire time of the formation of the dispersed medium. These experiments showed that at the beginning of the formation of the shell, its density increases significantly. In works on the thermal stability of polymers, the general laws of thermal decomposition and carbonization of cyclic, spatially crosslinked hot curing polymers were investigated and it was shown that the kinetics of destruction, the composition of gaseous products, the amount of coke formed and its properties depend on the properties of the initial polymers - the degree of crosslinking of molecular chains, chemical structure, the presence of impurities of catalysts and other curing conditions, as well as the heating conditions - speed and temperature. The article summarizes some of the results of the study, which is most appropriate for thin-walled steel castings to use the following mixture composition: filler - quartz sand; binder - clay of the Kazakhstani deposit, epoxy resin, hardener.

Keywords: mixture, shape, properties, heating, metal, heat resistance.

	Information about authors:
Alina Arailym Altynbekovna	Doctoral student of the Department of Nanotechnology and Metallurgy. Kazakhstan, Karaganda, NAO Kartu. ORCID 0000-0003-3577-4914. Email: altynbekovna_21@mail.ru
Kulikov Vitaly Yurievich	Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Nanotechnology and Metallurgy. Kazakhstan, Karaganda, NAO Kartu. ORCID 0000-0001-6191-8569. Email: mlpikm@mail.ru
Kovalev Pavel Vallerivich	Associate professor of the Department of Metallurgical and Foundry Technologies, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia. Email: pavel.kovalev.80@inbox.ru
Dostayeva Ardak Mukhamedievna	PhD, Senior Lecturer of the Department of Nanotechnology and Metallurgy. Kazakhstan, Karaganda, NAO Kartu. ORCID 0000-0002-1982-2368. Email: ardak_erkekyz@mail.ru

Introduction

An important problem of modern foundry technologies is the mechanization and automation of the manufacture of casting cores and molds, the complexity of the manufacture of which is very significant. The development of technological

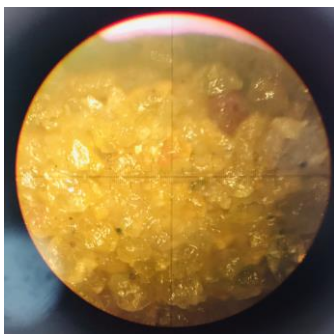
processes based on the use of cold-hardening mixtures (CTS) plays a significant role.

In works on the thermal stability of polymers, the general laws of thermal decomposition and carbonization of cyclic, spatially crosslinked hot curing polymers were investigated and it was shown that the kinetics of destruction, the composition of gaseous products, the amount of

coke formed and its properties depend on the properties of the initial polymers - the degree of crosslinking of molecular chains, chemical structure, the presence of impurities of catalysts and other curing conditions, as well as the heating conditions - speed and temperature.

Experimental Procedure

The composition of the cold-hardening mixture in the studies was as follows: filler - sand, binder, catalyst and hardener, characterized in that the composition of the mixture is used as follows: sand grade 1K0316-75%, clay (Beloe Glinische minefield) - 35%, epoxy resin EP- SM-PRO 1.8-2%, hardener consumption 921 OP 0.8-1%.



Picture 1 – CHM structure: c - 100 g cvar. sand + 15g epoxy with a mole with a hardener + 10% white clay

Defects in castings, depending on cores and molds, form defects in castings. The process of interaction of mixtures with metal. The most important characteristic of this interaction is the heat transfer between the casting and the mold. Temperature fields in the casting - mold system at different moments or periods of time determine the conditions for the occurrence of almost all processes at the metal - mold interface and in the volume of the mold [1-5].

Analyzing heat transfer from the stated positions, three parameters can be considered as determining:

1. τ_0 - the duration of direct contact of the liquid metal with the mixture. During this period, almost all types of surface defects are formed (burn-in, notches, snakes, etc.), therefore, the properties of cold-hardening mixtures during the period τ_0 are of particular interest. Knowledge of τ_0 is also necessary to assess the probability of certain physical and chemical processes occurring at the interface.

2. Temperature field in a rod or mold at a given time:

$$t_x = f(\tau, x) \quad (1)$$

where t_x - mixture temperature at a distance x from the interface, °C; τ - time.

Temperature fields can be used to study the effect of mixtures on the solidification of castings, to investigate and analyze temperature transformations in mixtures under conditions close to real ones, the nature of gas release during heating, the formation of the properties of spent mixtures as an object of reuse or regeneration, etc.

3. Heating rate of the mixture at a given point of the rod or mold u_x , °C/мин. This parameter, determined from the previous one, is necessary for the development of methods for studying the properties of mixtures at high temperatures, for the maximum approximation of the experimental conditions to the conditions of real interaction.

The mass of castings varies from tens of kilograms to several tens of tons with a wall thickness of 20-30 mm to 500-600 mm, therefore, the issues of interaction of mixtures with metal should be considered with such a degree of generalization, which, at least in the first approximation, corresponded to the actual variety of cast parts. ... With this formulation of the problem, the most reliable is a combination of theoretical and experimental methods. Fundamental work in the field of the theory of heat conduction and heat transfer in a casting mold makes it possible to solve the problem in the following way.

The duration of contact of a liquid metal with a mixture for a wide range of wall thicknesses under certain assumptions can be determined analytically for the plate-semi-infinite form system, if there is data on the thermophysical properties of the metal and mixtures [3-4]

Results and Discussion

The theory and, in particular, the principle of heat flux stability provides methods of transition from plates to bodies of more complex shapes and a corresponding approximation to practical conditions. You can also analytically analyze the temperature fields in the bars for slabs with a given thickness interval.

If now experimental temperature measurements are carried out on real castings with a wide range of geometric parameters, then it seems possible, firstly, to check the results of

theoretical calculations, secondly, to clarify the calculation methods, and thirdly, to determine the limits of their application, taking into account the assumptions made.

The thermal stability of molding mixtures with resins in the manufacture of large castings is one of the most difficult and poorly studied problems in the technology of casting molds. However, there is a certain analogy between the thermal stability of mixtures and the thermal resistance of polymers, which is devoted to a special section of polymer chemistry.

In polymer chemistry, thermal stability is the limiting temperature at which a chemical change occurs in the polymer, which affects its properties. More accurate, apparently, is the determination of thermal stability as the limiting temperature at which the thermal or thermochemical degradation of the polymer begins [5].

For a molding mixture with resins, the definitions of thermal stability adopted in polymer chemistry should be significantly expanded [5]. Traditional polymers, as a rule, are operated for a long time at low (up to 300 ° C) temperatures, and under the conditions of their operation, significant chemical changes in the material are not allowed. It is this circumstance that is reflected in the definition of thermal stability. On the other hand, a molding mixture is operated for a short time at very high temperatures and its thermal stability as a physical concept should reflect these conditions.

A similar problem is being addressed in the field of polymer chemistry. So, for example, when assessing the thermal stability of high-molecular compounds, it is necessary to take into account not only the maximum temperature at which certain properties of the material do not significantly deteriorate, but also the holding time at this temperature, as well as the kinetics of polymer heating.

In principle, synthetic resins [6] used in foundry for cores and large casting molds have similar properties. All of them in the cured state are thermosetting polymers, infusible and insoluble. As already indicated, this property is necessary because it provides the overall stability of the mixture against metal pressure. The thermosetting properties of casting resins are due to their three-dimensional, spatially cross-linked structure. From a chemical point of view, high thermal stability is explained by the presence in the structure of resins of six-membered (PFS) [7-9] or five-membered

(furan resins) cycles with a high concentration of carbon atoms in each structural unit of the polymer.

The studies carried out confirm the presence of a direct relationship between the structure and thermal resistance of resins. The least heat-resistant resins do not contain aromatic cycles in their link; an increase in thermal resistance is associated with an increase in the concentration of atoms in the structure. On the other hand, a comparison of coke numbers allows one to make a preliminary forecast about the possibility of using certain classes of polymers as foundry binders.

The important role of coke in form resistance to the action of liquid metal is determined by the fact that, unlike the initial polymer, it can exist for some time at temperatures up to 3000 ° C. Thus, there is a fundamental correspondence between the heating conditions of the molding sand and the properties of the binder.

In works on the thermal stability of polymers, the general laws of thermal decomposition and carbonization of cyclic, spatially crosslinked hot curing polymers were investigated and it was shown that the kinetics of destruction, the composition of gaseous products, the amount of coke formed and its properties depend on the properties of the initial polymers - the degree of crosslinking of molecular chains, chemical structure, the presence of catalyst impurities and other curing conditions, as well as the heating conditions - speed and temperature [10].

The study of the change in density over time depending on the applied load was studied in a series of experiments. The density of the mixture was determined every thirty seconds during the entire time of the formation of the dispersed medium. These experiments showed that at the beginning of the formation of the shell, its density increases significantly. This is due to the removal of interstitial air from the volume of the mixture and a more compact packing of sand grains and particles of unmelted resin under the action of the applied static pressure. A further increase in density occurs insignificantly and is associated with the melting and hardening of the resin, which fills the remaining pores between the grains of sand. Prolonged thermal exposure to EPS will lead to resin burnout and, as a result, to decompaction. A similar distribution of density over time is observed for any degree of compaction used in the experiments.

A series of experiments was carried out to determine the effect of the filling height of the mixture into the filling frame (flask) on the strength properties of the shell (Table 1).

Table 1 - Mixture into the filling frame on the strength properties of the shell

No. of experiments	Density, kg / m ³	Applied load, MPa	Initial density
1	1420	0	Initial density 1400 kg / cm ³
2	1560	0,1	
3	1690	0,2	
4	1740	0,3	
5	1790	0,4	
6	1420	0	Initial density 1500 kg / cm ³
7	1630	0,1	
8	1780	0,2	
9	1790	0,3	
10	1805	0,4	
11	1310	0	Initial density 1300 kg / cm ³
12	1530	0,1	
13	1705	0,2	
14	1880	0,3	
15	1900	0,4	

Experiments have shown that, within the filling frame, the filling height does not have a significant effect on the properties of the shell mold due to the small height of the PSS column (Table 2).

Except for the backfill height, which is close to the shell thickness. The filling height with the mixture was determined from the highest point of the model plate. The pressure at which the shell was formed was 0.30 MPa.

Table 2 - Experimental data

Backfill height of the PSS in the flask, mm	Tensile strength of the shell, MPa
20	4,3; 4,2; 4,1
40	4,9; 4,8; 4,3
60	5,3; 4,6; 4,4
80	5,4; 4,9; 4,5
100	5,4; 4,9; 4,6

Conclusions

To sum up, the content of the binder in the CTS is the main indicator of the composition, which determines the level of strength characteristics of rods and molds, the quality of castings, the sanitary and hygienic characteristics of the process and its technical and economic efficiency.

Conflicts of interest

On behalf of all authors, the corresponding author states that there is no conflict of interest.

Cite this article as: Alina A. A., Kulikov V. Y., Kovalev P. V., Dostayeva A. M. Study of thermal resistance of cold mixtures with clay addition. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu.* 2021. № 1 (316), p. 91-97. <https://doi.org/10.31643/2021/6445.11>

Құрамына балшық қосылған суықтай қататын қоспаның термотұрақтылығын зерттеу

^{1*} Алина А.А., ¹ Куликов В.Ю., ² Ковалев П.В., ¹ Достоева А.М.

¹ Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

² Ұлы Петр атындағы Санкт-Петербург политехникалық университеті, Ресей

* Corresponding author email: altynbekovna_21@mail.ru

ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада суықтай қататын қоспаларға (СҚҚ) балшық қосу арқылы ыстыққа төзімділігін зерттеу нәтижелері талданады. Мақалада әртүрлі әдістермен алынған СҚҚ үлгілерінің қасиеттерін тәжірибелік зертханалық зерттеудің нәтижелері келтірілген. Технологияның ғылыми жаңалығы - суықтай қататын қоспалар арқылы алынатын құймалардың беттік сапасының жоғары болуын, құймаларда газ көпіршіктері болмауын қамтамасыз ететіндігінде. Жоғары сапалы ақаусыз құю

Мақала келді: 03 ақпан 2021

Рецензенттен өтті: 24 ақпан 2021

Қабылданды: 12 наурыз 2021

өндірісіне үлес қосатын қалып дайындауға арналған композиция мен технологиялық параметрлерді таңдау олардың құнын едәуір төмендетуге мүмкіндік береді, бұл біздің еліміздің экономикасына оң әсер етеді. Тығыздықтың уақыт бойынша қолданылатын күшке байланысты өзгеруі бірқатар тәжірибелерде зерттелген. Қоспаның тығыздығы дисперсті ортаның пайда болуының барлық кезеңінде әр отыз секунд сайын анықталды. Бұл тәжірибелер қабықтың пайда болуының басында оның тығыздығы едәуір арта түсетіндігін көрсетті. Полимерлердің термиялық тұрақтылығы туралы жұмыстарда циклдік, кеңістікте өзара байланысқан полимерлердің термиялық ыдырау және карбонизациялаудың жалпы заңдылықтары зерттеліп, жойылу кинетикасы, газ тәріздес өнімдердің құрамы, түзілген кокстың мөлшері және оның қасиеттерінің бастапқы полимерлердің қасиеттеріне - молекулалық тізбектердің өзара байланысу дәрежесіне, химиялық құрылымына, катализатор қоспаларының болуына және басқа да қатаю жағдайларына, сонымен қатар қыздыру жағдайларына - жылдамдық пен температураға байланыстылығы көрсетілді. Бұл тәжірибелер қабықтың пайда болуының басында оның тығыздығы едәуір арта түсетіндігін көрсетті. Мақалада зерттеудің кейбір нәтижелері жинақталып, бұл жұқа қабырғалы болат құймалар үшін келесі қоспаның: толтырғыш - кварц құмы; байланыстырушы - қазақстандық кен орнының балшықтары, эпоксидті шайыр, қатайтқыш құрамын қолдану өте қолайлы болатыны көрсетілді.

Түйін сөздер: қоспа, қалып, қасиеттері, қыздыру, металл, ыстыққа төзімділік.

Алина Арайлым Алтынбекқызы	Авторлар туралы ақпарат: «Нанотехнология және металлургия» кафедрасының докторанты. Қазақстан, Қарағанды, КеАҚ ҚарТУ. ORCID 0000-0003-3577-4914. Email: altynbekovna_21@mail.ru
Куликов Виталий Юрьевич	Техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Нанотехнология және металлургия» кафедрасының меңгерушісі. Қазақстан, Қарағанды, КеАҚ ҚарТУ. ORCID 0000-0001-6191-8569. Email: mlpikm@mail.ru
Ковалев Павел Вальеревич	«Металлургия және құйма технологиялары» кафедрасының доценті, Ұлы Петр атындағы Санкт-Петербург политехникалық университеті, Ресей Email: pavel.kovalev.80@inbox.ru
Достаева Ардақ Мухамедқызы	PhD доктор, «Нанотехнология және металлургия» кафедрасының аға оқытушысы. Қазақстан, Қарағанды, КеАҚ ҚарТУ. ORCID 0000-0002-1982-2368. Email: ardak_erkekyz@mail.ru

Исследование термостойкости холоднотвердеющих смесей с добавкой глины

^{1*} Алина А.А., ¹ Куликов В.Ю., ² Ковалев П.В., ¹ Достаева А.М.

¹ Карагандинский технический университет, Караганда, Казахстан

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия

* Электронная почта автора: altynbekovna_21@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В статье анализируются результаты термостойкости холоднотвердеющих смесей с добавкой глины. В статье приведены результаты экспериментальных лабораторных исследований свойств образцов из ХТС, полученных различными способами. Научная новизна технологии заключается в том, что технология литья в ХТС позволяет обеспечить высокое качество поверхности литья, отсутствие газовых дефектов и засоров в отливке. Подбор состава и технологических параметров изготовления формы, способствующей получению качественных бездефектных отливок, значительно снизит их себестоимость, что положительно скажется на экономике нашей страны. Исследование изменения плотности во времени в зависимости от приложенной нагрузки изучали в серии экспериментов. Каждые тридцать секунд в течение всего времени формирования дисперсной среды определялась плотность смеси. Эти эксперименты показали, что вначале формирования оболочки ее плотность значительно повышается. В работах по термостойкости полимеров исследованы общие закономерности термического распада и карбонизации циклических, пространственно сшитых полимеров горячего отверждения и показано, что кинетика деструкции, состав газообразных продуктов, количество образующегося кокса и его свойства зависят от свойств исходных полимеров - степени сшивки молекулярных цепей, химического строения, наличия примесей катализаторов и других условий отверждения, а так-же от условий нагрева - скорости и температуры. Статья подводит некоторые итоги изучения, что наиболее целесообразно для тонкостенных отливок из стали использовать следующий состав смеси: наполнитель – кварцевый песок; связующее – глина казахстанского месторождения, эпоксидная смола, отвердитель.

Ключевые слова: смесь, форма, свойства, нагрев, металл, термостойкость.

Информация об авторах:

докторант кафедры «Нанотехнологии и металлургия». Казахстан, г. Караганда, НАО КарТУ.

Статья поступила: 03 февраля 2021

Рецензирование: 24 февраля 2021

Принята в печать: 12 марта 2021

Алина Арайлым Алтынбекқызы

	ORCID 0000-0003-3577-4914. Email: altynbekovna_21@mail.ru
Куликов Виталий Юрьевич	кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Нанотехнологии и металлургия». Казахстан, г. Караганда, НАО КарТУ. ORCID 0000-0001-6191-8569. Email: mlpikm@mail.ru
Ковалев Павел Вальеревич	доцент кафедры «Металлургические и литейные технологии» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия. Email: pavel.kovalev.80@inbox.ru
Достаева Ардак Мухамедиевна	доктор PhD, старший преподаватель кафедры «Нанотехнологии и металлургия». Казахстан, г. Караганда, НАО КарТУ. ORCID 0000-0002-1982-2368. Email: ardak_erkekyz@mail.ru

Литература

- [1] Серебро В. С. Влияние отсоса газа на изготовление оболочковых форм и стержней // Литейное производство. – 1992. – № 10. – С. 21–22.
- [2] Серебро В.С., Цвиткис Э.Ш., Лысенко Т.В., Давыдова Е.А., Соловьёва В.С. Повышение эффективности технологии литья в оболочковые формы // Литейное производство. – 1991. – № 9. – С. 17–19.
- [3] Куликов В.Ю., Исагулов А.З., Еремин Е.Н., Ковалева Т.В. Повышение равномерности плотности и увеличение прочности оболочковой формы // Литейное производство. 2018. № 3. С. 27-29..
- [4] Issagulov A., Kulikov V., Issagulova D., Shcherbakova E., Kuzhanova A. Developing technological process of obtaining guality casts // Metalurgija (Zagreb, Croatia). 2014. T. 53. № 4. С. 601-604.
- [5] Куликов В.Ю., Исагулов А.З., Щербакова Е.П. и др. Разработка технологии получения высокопрочных литейных форм на основе холоднотвердеющих смесей // Материалы IX Международной научно-практической конференции «Nauka: teoria i praktika – 2013» (07-15 сентября 2013 г.) – Przemysl (Польша), 2013. - С.52-54.
- [6] Panichkin A.V., Kenzhaliyev B.K., Kenzhegulov A.K., Imbarova A.T., Karboz Zh.A., Shah A. The effect of the catalytic layer composition on the hydrogen permeability of assymetric tantalum-based membranes]. Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu. 2020. № 4 (315), pp. 82-95. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.40>
- [7] Блайда И.А., Васильева Т.В., Слюсаренко Л.И., Барба И.Н., Водзинский С.В. Технологические параметры процесса биовыщелачивания отвалов углеобогащения с целью извлечения редких металлов // Комплексное использование минерального сырья. – 2018. – №4. – С. 28-37. <https://doi.org/10.31643/2018/6445.27>
- [8] Куликова В.Ю., Еремин Е.Н., Ковалева Т.В., Щербакова Е.П. Математическое моделирование процесса формообразования песчано-смоляных смесей // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2019. Т. 12. № 7. С. 810-817.
- [9] Квон С.С., Куликов В.Ю., Щербакова Е.П. Использование глин некоторых месторождений Казахстана для изготовления оболочек при ЛВМ // Литейщик России. 2020. № 2. С. 18-23.
- [10] Пономаренко О. И., Евтушенко Н. С. Технологический процесс получения холоднотвердеющих смесей на основе олигофурфурилоксисилаксановых связующих. / Литье и металлургия, 2013.-№2.

References

- [1] Serebro V. S. Vliyaniye otsosa gaza na izgotovleniye obolochkovykh form i sterzhney [Influence of gas suction on the production of shell molds and rods]. Liteinoe proizvodstvo. - 1992. – № 10, p. 21–22. (In Russ.).
- [2] Serebro V. S., Tsvitkis E. Sh., Lysenko T.V., Davydova E.A., Solovyova V.S. Povysheniye effektivnosti tekhnologii lit'ya v obolochkovyye formy [Improving the efficiency of shell casting technology]. Liteinoe proizvodstvo. -1991. – № 9, p. 17–19. (In Russ.).
- [3] Kulikov V.Yu., Isagulov A.Z., Eremin E.N., Kovaleva T.V. Povysheniye ravnomernosti plotnosti i uvelicheniye prochnosti obolochkovoy formy [Increasing the uniformity of density and increasing the strength of the shell mold]. Liteinoe proizvodstvo. 2018. № 3, p. 27-29. (In Russ.).
- [4] Issagulov A., Kulikov V., Issagulova D., Shcherbakova E., Kuzhanova A. Developing technological process of obtaining guality casts // Metalurgija (Zagreb, Croatia). 2014. T. 53. № 4. С. 601-604. (In Eng.).
- [5] Kulikov V.Yu., Isagulov A.Z., Shcherbakova E.P. and others. Razrabotka tekhnologii polucheniya vysokoprochnykh liteynykh form na osnove kholodnotverdeyushchikh smesey [Development of technology for obtaining high-strength casting molds based on cold-hardening mixtures]. Materials of the IX International Scientific and Practical Conference "Nauka: Teoria i praktika - 2013" (September 07-15, 2013) - Przemysl (Poland), 2013. - С .52-54. (In Russ.).
- [6] Panichkin A.V., Kenzhaliyev B.K., Kenzhegulov A.K., Imbarova A.T., Karboz Zh.A., Shah A. The effect of the catalytic layer

- composition on the hydrogen permeability of assymetric tantalum-based membranes]. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu.* 2020. № 4 (315), pp. 82-95. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.40> (In Eng.).
- [7] Blyda I. A., Vasil'eva T. V., Slyusarenko L. I., Barba I. N., Vodzinsky S. V. Tekhnologicheskiye parametry protsessa biovyshchelachivaniya otvalov ugleobogashcheniya s tsel'yu izvlecheniya redkikh metallov [Technological parameters of the process of bioly leaching of coal enrichment dumps for the purpose of rare metal removal]. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a (Complex Use of Mineral Resources).* No. 4. 2018, p. 28-37. <https://doi.org/10.31643/2018/6445.27> (In Russ.).
- [8] Kulikova V.Yu., Eremin E.N., Kovaleva T.V., Shcherbakova E.P. Matematicheskoye modelirovaniye protsessa formoobrazovaniya peschano-smolyanykh smesey [Mathematical modeling of the formation process of sand-resin mixtures]. *Journal of the Siberian Federal University. Series: Engineering and technology.* 2019.Vol. 12.No. 7.P. 810-817. (In Russ.).
- [9] Kwon S.S., Kulikov V.Yu., Shcherbakova E.P. Ispol'zovaniye glin nekotorykh mestorozhdeniy Kazakhstana dlya izgotovleniya obolochek pri LVM [The use of clays of some deposits of Kazakhstan for the manufacture of shells at LVM]. *Foundry of Russia.* 2020. No. 2. S. 18-23. (In Russ.).
- [10] Ponomarenko O. I., Evtushenko N. S. Tekhnologicheskiy protsess polucheniya kholodnotverdeyushchikh smesey na osnove oligofurfuriloksisilaksanovykh svyazuyushchikh [Technological process for obtaining cold-hardening mixtures based on oligofurfuryloxysilaxane binders]. *Casting and metallurgy,* 2013.-№2. (In Russ.).

МАЗМУНЫ
СОДЕРЖАНИЕ
CONTENTS

<i>Yessengarayev Ye.K., Surimbayev B.N., Baimbetov B.S., Mamyachenkov S.V., Kanaly T.S.</i> ORE TREATMENT HYDROGEN PEROXIDE DURING HEAP LEACHING OF GOLD..5	
<i>Bekibayev T.T., Zhapbasbayev U.K., Ramazanova G.I., Minghat A. D., Bosinov D.Zh.</i> SIMULATION OF OIL PIPELINE SHUTDOWN AND RESTART MODES	15
<i>Қойжанова А.Қ., Седельникова Г.В., Ерденова М.Б., Беркінбаева А.Н., Камалов Э.М.</i> АЛТЫН ШЫҒАРАТЫН ФАБРИКАНЫҢ КЕНДЕРІНЕН АЛТЫН АЛУДЫҢ БИОГИДРОМЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯСЫ	24
<i>Miryuk O. A. .</i> GRANULAR MAGNESIA COMPOSITIONS.....	32
<i>Aliev S. B., Omarbekov Ye.U.</i> TECHNOLOGICAL IMPROVEMENT OF THE SCHEME UNIT RECEPTION AND DISTRIBUTION OF SOLUTION UNDER CONDITIONS OF HIGH-PRESSURE NATURE OF GROUNDWATER	40
<i>Lezhnev S. N., Naizabekov A. B., Volokitina I. E., Panin E. A., Kuldeyev E. I.</i> RADIAL-SHEAR ROLLING AS A NEW TECHNOLOGICAL SOLUTION FOR RECYCLING BAR SCRAP OF FERROUS METALS.....	46
<i>Молдабаева Г. Ж., Сулейменова Р. Т., Агзамов А. Х., Абилева С. Ж., Балуанов Б. А., Каримова А. С.</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОДУКТИВНЫЙ ПЛАСТ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЯЗКОСТИ И УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ	53
<i>Shaikhova G. S.</i> EXPLANATION OF THE CLUSTER STRUCTURES MELTING MECHANISM AND THEIR INFLUENCE ON THE MOLTEN STATE'S PHYSICAL AND CHEMICAL NATURE	63
<i>Бектурганова Н. Е.</i> СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ПОЧВЫ И ПЕРСПЕКТИВА ПРИМЕНЕНИЯ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ	69
<i>Alina A.A., Kulikov V.Y., Kovalev P.V., Dostayeva A.M.</i> STUDY OF THERMAL RESISTANCE OF COLD MIXTURES WITH CLAY ADDITION	82

Технические редакторы:
Г.К. Касимова, Т. И. Кожаметов, Ж. А. Карбоз

Верстка на компьютере:
Артыкбаев Н. Ж.

Дизайнер:
Артыкбаев Н. Ж.

Подписано в печать 15.03.2021 г.