

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Қазақстан Республикасының Ғылым
Академиясының Әл-Фараби атындағы
Қазақ ұлттық университетінің

NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
Al-Farabi Kazakh
National University

SERIES
PHYSICO-MATHEMATICAL

3 (337)

MAY – JUNE 2021

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series physico-mathematical journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of chemistry and technologies in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of chemical sciences to our community.

Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы «ҚР ҰҒА Хабарлары. Физикалық-математикалық сериясы» ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді химиялық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.

НАНПК сообщает, что научный журнал «Известия НАНПК. Серия физико-математическая» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество и глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАНПК в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по химическим наукам для нашего сообщества.

Бас редактор:

МҰТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан) Н-5

Редакция алқасы:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан) Н-7

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жаңабайұлы (бас редактордың орынбасары), техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Сатпаев университетінің Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, (Алматы, Қазақстан) Н-3

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физика), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша) Н=23

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н-10

QUEVEDO Hernando, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика) Н-28

ЖҮСПОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н-7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина) Н-5

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі (Минск, Беларусь) Н-2

РАМАЗАНОВ Тілекқабұл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан) Н-26

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н-5

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова) Н-42

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан) Н-10

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н – 12

КАЛАНДРА Пьетро, Ph.D (физика), Наноқұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия) Н = 26

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математикалық сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 2224-346X (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.).
Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде
14.02.2018 ж. берілген № 16906-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *физика-математика ғылымдары және ақпараттық техникалар саласындағы басым ғылыми зерттеулерді жариялау.*

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., тел.: 272-13-19, 272-13-18
<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2021

Типографияның мекен-жайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Главный редактор:

МУТАНОВ Галимкаир Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК (Алматы, Казахстан) Н - 5

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, советник генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан) Н - 7

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, (заместитель главного редактора), доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, университет Сатпаева (Алматы, Казахстан) Н - 3

ВОЙЧИК Вальдемар, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша) Н=23

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н - 10

QUEVEDO Nemando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика) Н - 28

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н - 7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина) Н - 5

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь) Н - 2

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, проректор по научно-инновационной деятельности, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н – 26

ТАКИБАЕВ Нургали Жабагаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н - 5

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова) Н - 42

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстанско-Британский технический университет (Алматы, Казахстан) Н – 10

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, доктор физико-математических наук, профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н – 12

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия) Н = 26

«Известия НАН РК. Серия физика-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 2224-346X (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № 16906-Ж выданное 14.02.2018 г.

Тематическая направленность: *публикация статей по геологии и техническим наукам.*

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19, 272-13-18

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2021

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, acting director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK (Almaty, Kazakhstan) H - 5

Editorial board:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich (Deputy Editor-in-Chief), doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan) H - 7

BAYGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabayevich, (Deputy Editor-in-Chief), doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan) H - 3

WOICIK Waldemar, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Lublin University of Technology (Lublin, Poland) H=23

BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H - 10

QUEVEDO Hemando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico) H - 28

ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H - 7

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine) H - 5

MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS of Belarus (Minsk, Belarus) H - 2

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Vice-Rector for Scientific and Innovative Activity, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H – 26

TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H - 5

TIGHINEANU Ion Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova) H - 42

KHARIN Stanislav Nikolayevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan) H – 10

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H - 12

CALANDRA Pietro, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy)

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

Physical-mathematical series.

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 2224-346X (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan No. 16906-Ж, issued 14.02.2018

Thematic scope: *publication of papers on geology and technical sciences.*

Periodicity: 6 times a year.

Circulation: 300

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,
<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2021

Address of printing house: ST «Aruna», 75, Muratbayev str, Almaty.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 3, Number 337 (2021), 138 – 147

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-1726.56>

УДК 004.942

МРНТ 20.23.27

А.Н. Телқожа, А.Б. Кульджабеков

Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: aizhan.telkozha@gmail.com

**УРАН КЕН ОРЫНДАРЫНДАҒЫ ПРОЦЕССТЕРДІ ПАРАЛЛЕЛЬ
БАҒДАРЛАМАУ АРҚЫЛЫ МОДЕЛЬДЕУ**

Аннотация. Бұл мақалада уранды жерасты шаймалау әдісі арқылы өндіруді модельдеу есептеулерін MPI параллельдеу технологиясын пайдалану арқылы жүзеге асырылды.

MPI технологиясы ғылыми есептеулерде белсенді қолданылады және процесстерді ішкі облыстарға бөлуінің арқасында есептеулерді тездетуге мүмкіндік береді. Есептеудің бастапқы облысы әр жеке процеске арналған ішкі облыстарға бөлініп, барлық процесстердің синхронды жұмыс жасауы үшін әр облыс бірдей нүкте санына бөлінді. Параллель есептеулер алгоритмі әртүрлі процесс сандарын іске қосулармен тексерілді. Бастапқы облыстағы нүктелер саны $360 \times 180 \times 180$ құрады. Процесс саны өскен сайын, оған бөлінген нүктелер саны азаяды, яғни есептеу уақытын азайтуға мүмкіндік береді.

Жерасты шаймалау технологиясы - бұл ұңғымалар арқылы қабаттарға сілтісіздендіру ерітіндісін айдау және сілтісіздендіру ерітіндісінің кенмен химиялық өзара әрекеттесуі арқылы тау жынысы ішіндегі минералды селективті еріту әдісі. Жерасты шаймалау әдісі тұз, калий, күкірт сияқты әртүрлі қатты заттарды бөліп алуға қолданылатын ерітінді негізінде өндіруші әдістер тобына жатады.

Кен қабатын еріткішпен қышқылдандыру, кен денесіндегі сорылатын қышқыл ерітіндісін фильтрациялау және өнімді ерітіндіні сору процесстерін қарастырып, реагенттің, сұйық және қатты фазадағы пайдалы компонент концентрацияларының таралулары анықталды.

Түйін сөздер: MPI, жерасты шаймалау технологиясы, Дарси заңы, концентрация таралулары.

Кіріспе. Уран - атом өнеркәсібі үшін негізгі пайдалы қазба. Қазіргі уақытта Қазақстанның барлық уран кен орындарында жерасты ұңғымалық шаймалау әдісі қолданылады [1].

Берілген мақалада жерасты шаймалау әдісімен уран алу процесін сипаттайтын үлгі ұсынылған. Жерасты ұңғымалы шаймалау әдісінің негізгі артықшылықтары:

- Капитал енгізуді және құрылыс мерзімін 2-3 есе қысқарту;
- Еңбек көп жасалатын үдерістер мен қайта жасауды қажет етпейтін еңбек өндірісін бірнеше есе жоғарылату;
- Өнімнің өзіндік құнын 2-2,5 есе қысқарту;
- Уранды жер қойнауынан бөліп алудың жоғары (80-90 %) деңгейі;
- Қиын горногеологиялық және гидрогеологиялық шарттармен жатқан кен орындарын игеру;
- Уран өндіруді ең қиын және қауіпті жерасты тау-кен жұмыстары циклынан жер бетінен ұңғымаларды бұрғылаумен алмастыру;
- Өндіру процесстерін толықтай автоматтандыру және уранды концентраттарды ең соңғы өнім алғанға дейін өңдеу мүмкіндігі;

- Жер қойнауына және қоршаған ортаға минималды әсер ету.

Бұл әдіс кен орнын барлау кезеңінен бастап, табиғи уранның химиялық концентратын алғанға дейінгі геотехнологиялық тізбектің барлық буындарында арнайы назар бөлуді қажет етеді [13], [18].

Пайдалы қазбаларды жерасты классикалық әдіспен өндіру және ашық әдіс арқылы өндірумен салыстырғанда, жерасты шаймалау әдісі өте аз қалдық шығарады.

Жерасты шаймалау әдісін түсіндіруде алты қадамды бөліп алуға болады, олар:

1. Ұңғымалардың екі жүйесін бұрғылау: айдаушы және өндіруші;
2. Уранның қатты минералдарын еріту мақсатында инжекторлар арқылы қышқылды (немесе сілтілі) сулы ерітіндіні шоғырға айдау;
3. Уранмен байытылған ерітіндіні өндіру ұңғымалары арқылы жер бетіне айдау;
4. Өңдеу қондырғысында селективті ион алмастырғыш шайырдың көмегімен сұйықтықтан уранды бөліп алу;
5. Ерітіндінің шаймалау қабілетін қалпына келтіру;
6. Өңдеу [2], [12].

Уран өндірудің тиімділігін арттыру жолдарының бірі уран өндірудің геологиялық деректері мен геотехнологияларына кешенді талдау жүргізу болып табылады [3].

Жер асты шаймалау минералдарды жер қойнауындағы өнімді ерітіндіге іріктеп ауыстыру арқылы кенді жер бетіне көтерместен кен орындарын игеру әдісі болып табылады. Бұл әдіс ұңғымаларды кен денелері арқылы бұрғылау, реагент ерітіндісін беру және өнімді ерітінділерді жер бетіне көтеру, қайта өңдеу (пайдалы компонентті алу, еріткішпен толық бекіту және т. б.) арқылы жүзеге асырылады және шаймалаудың жаңа циклінде пайдалану үшін айдау ұңғымалары арқылы қабатқа қайта жіберіледі [4]-[7].

Берілген жұмыстың мақсаты болып жерасты шаймалау әдісін модельдеу есептеулерінің математикалық және сандық моделін параллель бағдарламалау технологиясын (MPI) қолдану арқылы жылдам есептеу табылады.

Физика-математикалық модель. Пайдалы қазбаларды өндірудің геотехнологиялық әдістері қоршаған ортаны қорғау тұрғысынан перспективті болып табылады. Әсіресе бұл әдістер қатарына жерасты шаймалау әдісі жатады. Бұл жағдайда масса алмасу және химиялық процестер нәтижесінде пайдалы компонент (ПК) қозғалмалы күйге ауысады және оны өндіру ұңғымалар арқылы жүзеге асырылады [8], [16]. Реагент ретінде су, ерітінді мен сілті қышқылдары, және т.б қолданылады. Кен шаймалауда ең қолайлы болып келеді, ол жерде пайдалы қазбалар кеуектердің, жарықтардың қабырғаларында қабықшалар түзеді немесе бұл минералдар құмда дәндер түрінде ұсынылады. Сонымен қоса, пайдалы компоненттің реагентпен байланысуы максималды түрде болады. Егер кенді дене сулы деңгейжик болып табылса, онда ерітіндідегі пайдалы компонент концентрациясы үлкен мәндерге жететін конвективті шаймалау болады [14], [17].

Кен қабатын еріткішпен қышқылдандыру, кен денесіндегі сорылатын қышқыл ерітіндісін фильтрациялау және өнімді ерітіндіні сору процестерін қарастырамыз. Қарастырылып отырған орта біртекті және изотропты, ал ерітінді және кен қабаты тығыздығы тұрақты, кен қабаты шекарасында ерітіндіге ауысу болмайды деп аламыз. Онда Дарси заңы мен сақталу заңдарын пайдалана отырып, атап өтілген процесстерді келесідей жазамыз:

$$\operatorname{div}(K \operatorname{grad} H) + \sum_{i=1}^{NW} q_{si} \delta(\vec{x} - \vec{x}_i) = 0 \quad (1)$$

$$\vec{V} = -K \operatorname{grad} H \quad (2)$$

$$\theta \frac{\partial C_r}{\partial t} = \operatorname{div}(\hat{D} \operatorname{grad} C_r) - \vec{V} \operatorname{grad} C_r - v_1 \beta \theta C_m C_r + \sum_{i=1}^{NW} q_{si} C_r^0 \delta(\vec{x} - \vec{x}_i) \quad (3)$$

$$\frac{\partial C_m}{\partial t} = -\beta \theta C_r C_m \quad (4)$$

$$\theta \frac{\partial C_p}{\partial t} = \operatorname{div}(\hat{D} \operatorname{grad} C_p) - \vec{V} \operatorname{grad} C_p - v_2 \beta \theta C_m C_r + \sum_{i=1}^{NW} q_{si} C_r^0 \delta(\vec{x} - \vec{x}_i) \quad (5)$$

Бастапқы және шекаралық шарттары:

$$C|_{t=0} = C^0, \quad \left. \frac{\partial H}{\partial n} \right|_S = 0, \quad \left. \frac{\partial C}{\partial n} \right|_S = 0 \quad (6)$$

Мұндағы: H – кен қабатындағы гидравликалық қысым; \vec{V} – фильтрация жылдамдығы;

q_s – ұңғыманың көлемдік дебиті; C_r – реагент кен қабатына берілетін концентрация;

C_m – қатты фазадағы пайдалы компонент концентрациясы; C_p – сұйық фазадағы пайдалы компонент концентрациясы; NW – ұңғыма саны; θ – кен қабатының кеуектілігі; K – сүеткізгіштік; ρ – ерітінді тығыздығы; \hat{D} – гидродисперсия; β – кеуек кеңістіктің геометриясы мен реакция ерекшеліктерін сипаттайтын анықталушы коэффициент;

V_1, V_1 – реакциялардың стехиометриялық коэффициенттеріне байланысты параметрлер;

Кеуекті ортадағы дисперсия деп қоспаның болжанғаннан гөрі неғұрлым алыс аймақтарға орташа вектор жылдамдықтар негізінде таралуы. Дисперсия \hat{D} әрекеттегі жылдамдықтың микромасштаптағы жерасты су жылдамдығынан ауытқуы, концентрация градиентінен өтетін молекулалық диффузия сияқты механикалық дисперсия жолымен пайда болады. Молекулалық диффузия механикалық дисперсиямен салдыстырғанда өте аз, ол тек фильтрация жылдамдығы өте аз болған жағдайда ғана пайда болады. Механикалық дисперсия мен молекулалық диффузияның қосындысы гидродинамикалық дисперсия немесе жәй ғана дисперсия деп аталады. Гидродинамикалық дисперсия компоненттеріне арналған теңдеу изотропты жағдайда былай жазылады[9], [19]:

$$\begin{aligned} \hat{D}_{xx} &= \alpha_L \frac{v_x^2}{|\vec{v}|} + \alpha_T \frac{v_y^2}{|\vec{v}|} + \alpha_L \frac{v_z^2}{|\vec{v}|} + \theta D^*, \\ \hat{D}_{yy} &= \alpha_L \frac{v_y^2}{|\vec{v}|} + \alpha_T \frac{v_x^2}{|\vec{v}|} + \alpha_L \frac{v_z^2}{|\vec{v}|} + \theta D^*, \\ \hat{D}_{zz} &= \alpha_L \frac{v_z^2}{|\vec{v}|} + \alpha_T \frac{v_x^2}{|\vec{v}|} + \alpha_L \frac{v_y^2}{|\vec{v}|} + \theta D^*, \end{aligned} \quad (7)$$

Мұндағы: V_x, V_y, V_z – жылдамдық векторының компоненттері сәйкесінше x, y, z бағыттары бойынша;

D^* – молекулалық диффузия коэффициенті;

α_L, α_T – бойлық және көлденең дисперстілік.

Іс жүзінде кен орындарын жерасты шаймалауда ұңғымалардың сызықтық және гексоганалды орналасуы қолданылады [20]. Берілген жұмыста ұңғымалардың сызықтық орналасуы қолданылады. Есептеулер ені 20 м, ұзындығы 40 м және биіктігі 20 м болатын, үш ұңғымадан тұратын: екі құю ұңғымасы және бір сору ұңғымасынан тұратын кен орны блогына жүргізілді.

Сандық алгоритмі. Гидравликалық қысымға арналған дифференциалдық теңдеу (1) $AN=f$ түрінде жазылады. Мұндағы A ақырлы-айырым операторы мен f функциясы келесідей жазылады:

$$\begin{aligned} AN &= \frac{1}{\Delta x} \left(K_{i+\frac{1}{2},j,k} \frac{H_{i+1,j,k} - H_{i,j,k}}{\Delta x} - K_{i-\frac{1}{2},j,k} \frac{H_{i,j,k} - H_{i-1,j,k}}{\Delta x} \right) + \\ &+ \frac{1}{\Delta y} \left(K_{i,j+\frac{1}{2},k} \frac{H_{i,j+1,k} - H_{i,j,k}}{\Delta y} - K_{i,j-\frac{1}{2},k} \frac{H_{i,j,k} - H_{i,j-1,k}}{\Delta y} \right) + \end{aligned}$$

$$+ \frac{1}{\Delta z} \left(K_{i,j,k+\frac{1}{2}} \frac{H_{i,j,k+1} - H_{i,j,k}}{\Delta z} - K_{i,j,k-\frac{1}{2}} \frac{H_{i,j,k} - H_{i,j,k-1}}{\Delta z} \right) +$$

$$f = \sum_{s=1}^{NW} q_s \delta_{i,j,k}$$

Жоғарыда көрсетілгендей, ақырлы-айырым теңдеуі итерациялық жоғары релаксация әдісімен шығарылады. Итерациялық процесс $\|H^{n+1} - H^n\| < \varepsilon$ шарты орындалғанда тоқтайды.

Дарси заңынан (2) анықталған қысым нәтижелерінен фильтрация жылдамдығының компоненттерін табамыз:

$$U_{i,j,k} = -K_{i,j,k} \frac{H_{i+1,j,k} - H_{i-1,j,k}}{2\Delta x}$$

$$V_{i,j,k} = -K_{i,j,k} \frac{H_{i,j+1,k} - H_{i,j-1,k}}{2\Delta y}$$

$$W_{i,j,k} = -K_{i,j,k} \frac{H_{i,j,k+1} - H_{i,j,k-1}}{2\Delta z}$$

Сұйық фазадағы реагент концентрациясының тасымалдау теңдеуін, қатты фазадағы пайдалы компонент концентрациясын және оның сұйық фазаға айналуын қысымға қарсы айқын ақырлы айырымдар әдісі арқылы есептеу:

$$\theta \frac{\partial C}{\partial t} \approx \theta \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^n}{\Delta t}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (\widehat{D}xx \frac{\partial C}{\partial x}) \approx \frac{1}{\Delta x} [Dxx_{i+\frac{1}{2},j,k} \frac{C_{i+1,j,k} - C_{i,j,k}}{\Delta x} - Dxx_{i-\frac{1}{2},j,k} \frac{C_{i,j,k} - C_{i-1,j,k}}{\Delta x}],$$

$$\frac{\partial}{\partial y} (\widehat{D}yy \frac{\partial C}{\partial y}) \approx \frac{1}{\Delta y} [Dyy_{i,\frac{1}{2},j,k} \frac{C_{i,j+1,k} - C_{i,j,k}}{\Delta y} - Dyy_{i,j-\frac{1}{2},k} \frac{C_{i,j,k} - C_{i,j-1,k}}{\Delta y}],$$

$$\frac{\partial}{\partial z} (\widehat{D}zz \frac{\partial C}{\partial z}) \approx \frac{1}{\Delta z} [Dzz_{i,j,k+\frac{1}{2}} \frac{C_{i,j,k+1} - C_{i,j,k}}{\Delta z} - Dzz_{i,j,k-\frac{1}{2}} \frac{C_{i,j,k} - C_{i,j,k-1}}{\Delta z}],$$

$$u \frac{\partial C}{\partial x} \approx \frac{U_{i,j,k} + |U_{i,j,k}|}{2} \left[\frac{C_{i,j,k} - C_{i-1,j,k}}{\Delta x} \right] + \frac{U_{i,j,k} - |U_{i,j,k}|}{2} \left[\frac{C_{i+1,j,k} - C_{i,j,k}}{\Delta x} \right],$$

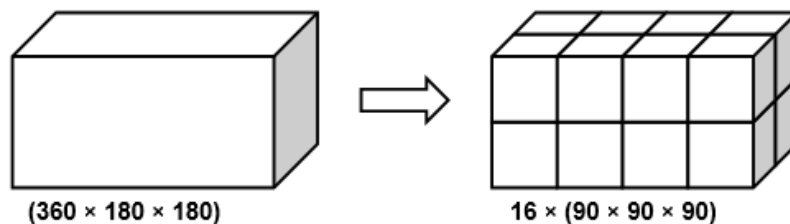
$$v \frac{\partial C}{\partial y} \approx \frac{V_{i,j,k} + |V_{i,j,k}|}{2} \left[\frac{C_{i,j,k} - C_{i,j-1,k}}{\Delta y} \right] + \frac{V_{i,j,k} - |V_{i,j,k}|}{2} \left[\frac{C_{i,j+1,k} - C_{i,j,k}}{\Delta y} \right],$$

$$w \frac{\partial C}{\partial z} \approx \frac{W_{i,j,k} + |W_{i,j,k}|}{2} \left[\frac{C_{i,j,k} - C_{i,j,k-1}}{\Delta z} \right] + \frac{W_{i,j,k} - |W_{i,j,k}|}{2} \left[\frac{C_{i,j,k+1} - C_{i,j,k}}{\Delta z} \right].$$

Параллель есептеулер алгоритмі. Бұл жұмыс MPI кітапханасы негізінде жасалған алгоритм қолданылған. MPI – хабарлама жолдау кітапханасы, параллель бағдарлама процесстері мен жадыны бөлу арасындағы байланысты (мәліметтер алмасу мен есептеулерді синхрондау) жеңілдетуге арналған C/C++ - тағы функциялар жиыны[10].

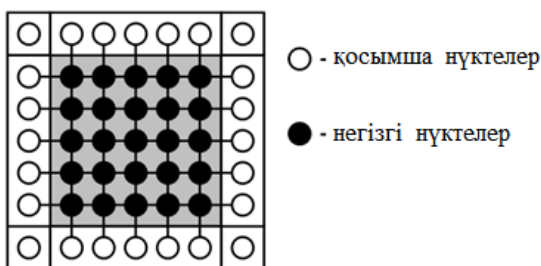
Ұсынылған жұмыста MPI кітапханалары негізінде жасалған алгоритм жүзеге асырылды. Есептеудің бастапқы облысы Ω (тік параллелепипед) әр жеке процеске арналған ішкі облыстарға бөлінеді (2 сурет). Барлық процесстердің синхронды жұмыс жасауы үшін әр облыс бірдей нүкте санымен болады.

Әр процесс жадыдан өз ішкі облысына қажетті орын бөледі және осы ішкі облыспен шектелетін нүктелер санымен жұмыс жасайды. Әр процесс өзінің идентификаторы (рангі) бойынша өзіне ғана тиесілі ішкі облысын және көрші облыстармен жұмыс жасайтын процесстер идентификаторын анықтайды. Бұл ақпарат процесс жұмысы барысында дұрыс хабарламалар жолдау үшін қажет, себебі процесс аралығындағы хабарлама көрші ішкі облыстармен жұмыс жасайтын процесстер аралығында жүзеге асады.



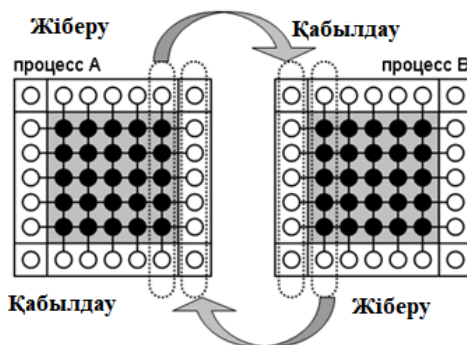
2-сурет. Бастапқы облыстың ішкі облыстарға бөлінуі.

Ішкі облыстағы нүктелер саны қосымша(көлеңке) нүктелермен 3 суреттегідей кеңейтіледі. Ақырлы-айырымды теңдеулерін есептеу негізгі нүктелер мен қосымша нүктелерді қолдану арқылы жүргізіледі. Көлеңке нүктелердегі айнымалылар мәні тиісінше процесстер мен мәліметтерді жолдау көмегімен көрші облыстар арқылы анықталады. Екі процесс арасындағы мәліметтер жолдау схемасы 3 суретте көрсетілген. Берілген процесстегі негізгі шеткі нүктелердегі айнымалылар көрші процеске жолданылады, ол көлеңке нүктелердегі айнымалыларды толықтырады.



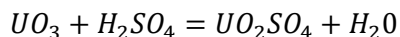
3 - сурет. Әрбір процестің негізгі ішкі облысын қосымша (көлеңкелі) нүктелермен кеңейту схемасы.

Егер ішкі облыс шеткі болса, яғни облыстың бірнеше жағынан көршілері болмаса, онда көлеңке нүктелер есептеудің шекаралық шарттарынан (6) анықталады.



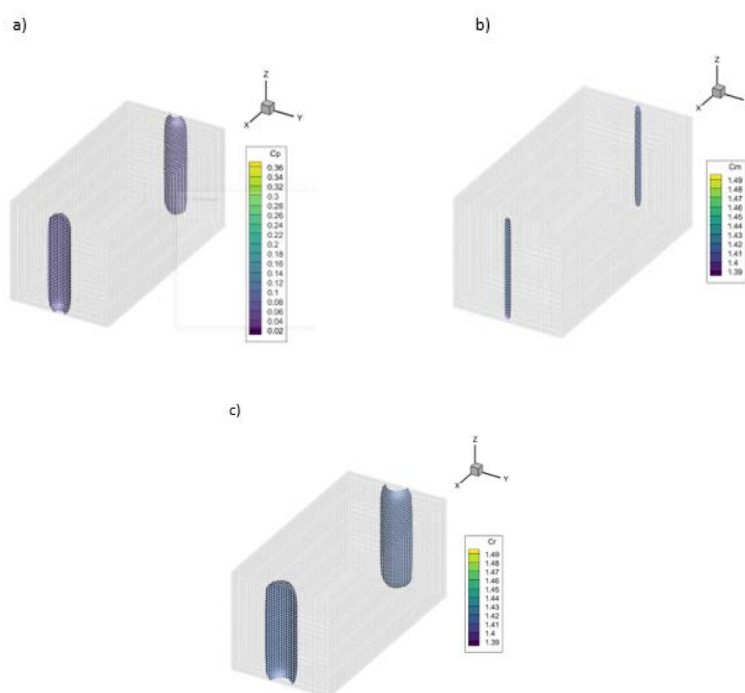
4 - сурет. Көрші процесстермен мәліметтері алмастыру схемасы

Есептеу нәтижелері және оларды талдау. Уранды күкірт қышқылы ерітіндісімен жерасты шаймалау процессін анықтауға арналған негізгі реакциясының схемалау формасы былай жазылады[7], [11]:



және бұл жұмыста уран өндіру процессін жерасты шаймалау әдісі арқылы модельдеуде қолданылады. Есептеулерде келесі параметрлер пайдаланылды: $K = 5м/тәул$, $\theta = 0.3$, қабат биіктігі

20 м, ұңғыма тереңдігі 5 м, $\alpha_l = \alpha_r = 0.1$ м. $\beta = 0.01$ л/(г тәул) параметрінің мәнінде 6 суретте $t = 100$ тәуліктегі сұйық фазадағы концентрацияның таралуының изосызықтары көрсетілген.



5-сурет. Концентрация таралуының 3D көріністері, $t=100$ тәулік: а) сұйық фазадағы пайдалы компонент, б) қатты фазадағы пайдалы компонент, с) реагент.

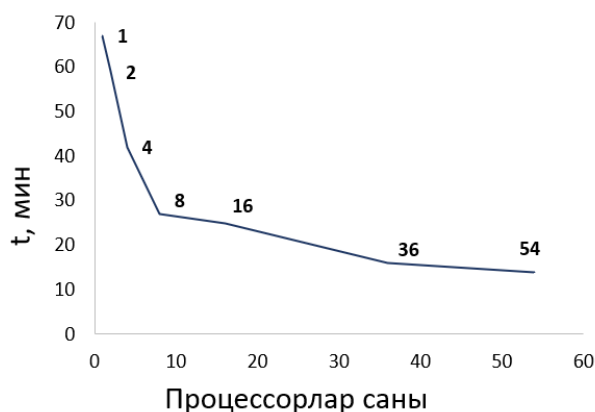
Алынған 3D көріністерден пайдалы компонент концентрацияларының таралуларын көруге болады, суреттерде кен орындарындағы пайдалы компоненттерді толық өндіруге әсерін тигізетін борсу аймақтарының бар екендігі көрсетілген.

Параллель есептеулер алгоритмі әртүрлі процесс санымен әртүрлі іске қосулармен тексерілді. Бастапқы облыстағы нүктелер саны $360 \times 180 \times 180$ құрады. Процесс саны өскен сайын, оған бөлінген нүктелер саны азаяды, яғни есептеу уақытын азайтуға мүмкіндік береді. 1 кестеде әртүрлі координата бағыттарына бойынша ішкі облыстар саны көрсетілген, сәйкесінше процесстер саны өзіне бөлінген нүктелер санымен:

1-кесте:

Процесс саны	Ішкі облыстар саны (x, y, z бағыттары бойынша)	Әр процеске арналған нүктелер саны
1	$1 \times 1 \times 1$	$360 \times 180 \times 180$
2	$2 \times 1 \times 1$	$180 \times 180 \times 180$
4	$4 \times 1 \times 1$	$90 \times 180 \times 180$
8	$4 \times 2 \times 1$	$90 \times 90 \times 180$
16	$4 \times 2 \times 2$	$90 \times 90 \times 90$
36	$6 \times 3 \times 2$	$60 \times 60 \times 90$
54	$6 \times 3 \times 3$	$60 \times 60 \times 60$

Эллиптикалық теңдеуді (1) әртүрлі процесс санымен есептеу уақыты 7 суретте көрсетілген:



6-сурет. Ағымға арналған эллиптикалық теңдеуді әртүрлі процесс санымен есептеу уақыты.

Есептеу уақытының процесс санына байланысты ерекшелігі айнымалылардың есептеуіш машинаның оперативті жадысының орналасуына байланысты болады. Берілген жұмыста процесс санын көбейту арқылы есептеу байланысы есептеу уақытын өте жақсы азайтқанын көруге болады. Ішкі облыстарға бөлу есептеу уақытын қысқартуға көмегін тигізді.

Қорытынды. Берілген жұмыста уранды өндіруді жерасты шаймалау әдісі арқылы өндірудің математикалық және сандық әдісі жасап шығарылды. Гидродинамикалық қысымның, жылдамдықтар өрісінің, сұйық фазадағы реагент концентрациясының таралуы, пайдалы компоненттің сұйық және қатты фазадағы таралу мәндері алынды.

Орналасу, тереңдік, ұңғымалар дебиті сияқты бастапқы мәліметтерді түрлендіре отырып және сәйкесінше нәтижелерді ала отырып, минерал өндірге талдау және болжам жасауға болады. Жасап шығарылған модельді жерасты шаймалау әдісі арқылы алынатын басқа материалдарды модельдеуге де пайдалануға болады.

Бұл жұмыста процесстер хабарламаларды жолдау көмегімен өзара әрекеттесетін MPI параллель бағдарламау технологиясы қолданылды. Параллель есептеу технологиясы әртүрлі санды өзара әрекеттесетін процесстерді іске қосу арқылы тексерілді.

Алынған нәтижелер бойынша үлкен жадыны қажет ететін есептеулерді тез шығару үшін жоғары өнімді аппараттармен шешу керек екендігін қорытындылауға болады. Осы жұмыстың физикалық есептеу облысы $360 \times 180 \times 180$ нүктелі торда жүргізілді. Егер есептеу кеңістік пен уақыт бойынша дәлді ақпаратты қажет ететін болса, онда нүктелер саны сәйкесінше көбейеді.

Жоғары өнімді жүйелерде параллель есептеулерді пайдалану соңғы нәтижені алуды жеңілдетеді және тездетеді, ал ол болса қазіргі уақыттағы ғылымды дамыту үшін маңызды болып табылады.

А.Н. Телқожа, А.Б. Кульджабеков

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы

E-mail: aizhan.telkozha@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ МЕТОДОМ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Аннотация. В данной статье осуществлено моделирование добычи урана методом подземного выщелачивания с использованием технологии распараллеливания MPI.

Технология MPI активно используется в научных расчетах и позволяет ускорить расчеты за счет разделения процессов на внутренние области. Исходная область расчета была разделена на внутренние области для каждого отдельного процесса, и каждая область была разделена на одно и

то же количество точек для синхронной работы всех процессов. Алгоритм параллельных вычислений проверялся запусками различных чисел процесса. Количество точек в начальной области составило $360 \times 180 \times 180$. По мере увеличения количества процессов количество выделенных на него точек уменьшается, то есть сокращается время вычислений.

Технология подземного выщелачивания – это метод нагнетания выщелачивающего раствора в пласт через скважины и селективного растворения минерала в горной породе путем химического взаимодействия выщелачивающего раствора с рудой. Метод подземного выщелачивания относится к группе добывающих методов на основе раствора, используемого для выделения различных твердых веществ, таких как соль, калий, сера.

Рассмотрены процессы закисления Рудного слоя растворителем, фильтрации раствора перекачиваемой кислоты в Рудном теле и всасывания продуктивного раствора, определены распределения концентраций реагента, полезного компонента в жидкой и твердой фазах.

Ключевые слова: MPI, технология подземного выщелачивания, закон Дарси, распределения концентраций.

A.N. Telkozha, A.B. Kuljabekov

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty

E-mail: aizhan.telkozha@gmail.com

MODELING OF PROCESSES IN URANIUM DEPOSITS THROUGH PARALLEL PROGRAMMING

Abstract. In this article, the simulation of uranium mining by underground leaching using MPI parallelization technology is carried out.

MPI technology is actively used in scientific calculations and allows you to speed up calculations by dividing processes into internal areas. The original calculation area was divided into internal areas for each individual process, and each area was divided into the same number of points for synchronous operation of all processes. The parallel computing algorithm was tested by running different numbers of the process. The number of points in the initial area was $360 \times 180 \times 180$. As the number of processes increases, the number of points allocated to it decreases, that is, the calculation time decreases.

Underground leaching technology is a method of injecting leaching solution into the formation through wells and selectively dissolving the mineral in the rock by chemical interaction of the leaching solution with the ore. The underground leaching method refers to a group of extractive methods based on a solution used to isolate various solids, such as salt, potassium, and sulfur.

The processes of acidification of the Ore layer with a solvent, filtration of the solution of the pumped acid in the Ore body and absorption of the productive solution are considered, the distribution of the concentrations of the reagent, the useful component in the liquid and solid phases is determined.

Key words. MPI, underground leaching technology, Darcy's law, concentration distributions.

Information about authors:

Telkozha A.N, student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, email: aizhan.telkozha@gmail.com, orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0859-4336>

Kuljabekov A.B. PhD, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, email: alibek.kuljabekov@gmail.com, orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4384-6463>

Әдебиеттер

[1] Национальная атомная компания «КазАтомПром» - Инструкция по подземному выщелачиванию урана – 307 бет – Алматы, 2006. <https://docplayer.ru/76911803-Mestorozhdeniy-urana-45.html>

[2] Kuljabekov A. B. Analytical and numerical models of chemical leaching with gypsum precipitation in porous media. – PhD thesis, University of Lorraine, Nancy, France, 2014.

[3] Канцел А.А. «Математическое моделирование динамика процесса подземного выщелачивания в неоднородном рудоносном слое», Диссертация на соискание ученой стипендии кандидат физико-механических. – Москва, 2010.

[4] В.А. Мамилова «Добыча урана методом подземного выщелачивания» – Москва: Атомиздат, 1980. – 248 бет.

[5] Белецкий, В.И., Богатков, Л.К., Волков, Н.И. и др. Справочник по геотехнологии урана. / под. ред. Д.И. Скороварова. – Москва: Энергоатомиздат, 1997. – 672 бет.

[6] Грабовников В.А. Геотехнологические исследования при разработке металлов. - Москва: Недра, 1995. – 155 бет.

[7] Тунгатарова, М.С., Калтаев, А., Омаров, М. Массообменные процессы в пористых средах. // Труды международной конференции “Actual Problem of computer sciences”. – Алматы. – 2003. – . 142-143

[8] Данаев, Н.Т., Корсакова, Н.К., Пеньковский, В.И. Массоперенос в прискважинной зоне и электромагнитный каротаж пласта. – Алматы: Қазақ университеті, 2005. – 180с.

[9] MT3DMS: A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion, and Chemical Reaction of Contaminants in Groundwater Systems; Documentation and User's Guide, by Chunmiao Zheng, P. Patrick Wang, Department of Geological Sciences, University of Alabama, 1999 160 p.

[10] Оленев Н.Н. Основы параллельного программирования в системе MPI -Москва: Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Российской академии наук, 2005 – 81с.

[11] Калтаев, А., Тунгатарова, М.С. Программный комплекс для проектирования размещения технологических скважин и мониторинга месторождения при добыче урана. // Сборник докладов III Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы урановой промышленности». – Алматы. – 2004. – б. 225 – 230.

[12] Мазо А.Б., Поташев К.А., Гидродинамика: учеб. Пособие для студентов нематематических факультетов.– Казань, 2013.

[13] Алибаева Қ.А. «Численные исследования путей повышения выработки месторождения при добыче минералов методом подземного скважинного выщелачивания»: диссертация на соискание ученой степени доктора философии (Ph.D) - Алматы, 2013.

[14] Хайдарова М. Э. Обоснование схемы вскрытия и эксплуатации урановых месторождений методом подземного выщелачивания // Молодой ученый. — 2016. — №14. — С. 192-195.

[15] Zhappar N. K., Ten O. A., Balpanov D. S., Erkasov R. Sh., Bakibaev A. A. Percolation bacterial leaching of low-grade copper ore. –2018. –№3. –С.30–37

[16] Erdenova M. B, Kojzhanova A. K., Kamalov E. M., Abdyldayev N. N., Abubakriyev A. T. Additional recovery of gold from waste after processing of goldcontaining ores of Kazakhstan– 2018. - №2. – С. 12– 20.

[17] К.Г. Бровин, В.А. Грабовников «Прогноз, поиски, разведка и промышленная оценка месторождения урана для отработки подземным выщелачиванием». Москва, 1995.

[18] Берикболов Б.Р., Петров Н.Н., Карелин В.Г. Справочник месторождения урана Казахстана. – Астана. – 1996.

[19] Chung T.J. «Computational fluid dynamics». Cambridge, United Kingdom, 2002.

[20] Бойцов В.Е., Верчеба А.А. Геолого-промышленные типы месторождений урана. Москва, 2008.

References

[1] National Nuclear Company "KazAtomProm" - Instructions for underground leaching of uranium – 307p – Almaty, 2206. <https://docplayer.ru/76911803-Mestorozhdeniy-urana-45.html> [in Russ]

[2] Kuljabekov A. B. Analytical and numerical models of chemical leaching with gypsum precipitation in porous media. – PhD thesis, University of Lorraine, Nancy, France, 2014.

- [3] Kanzel A. A. "Mathematical modeling of the dynamics of the underground leaching process in an inhomogeneous ore-bearing layer", Dissertation for the scientific scholarship Candidate of Physical and Mechanical Sciences.– Moscow, 2010. [in Russ]
- [4] V. A. Mamilova "Mining of uranium by underground leaching" - Moscow: Atomizdat,1980–248 p. [in Russ]
- [5] Beletsky, V. I., Bogatkov, L. K., Volkov, N. I., etc. Handbook of Uranium Geotechnology, 1997. – 672 p. [in Russ]
- [6] Grabovnikov V. A. Geotechnological research in the development of metals. Moskva: Nedra, 1995 -155p. [in Russ]
- [7] Tungatarova, M. S., Kaltaev, A., Omarov, M. Mass transfer processes in porous media. // Proceedings of the International Conference «Actual Problem of computer sciences». -Almaty. -2003 [in Russ]
- [8] Danaev, N. T., Korsakova, N. K., Penkovsky, V. I. Mass transfer in the near-well zone and electromagnetic logging of the formation, Almaty, 2005[in Russ]
- [9] MT3DMS: A Modular Three-Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation of Advection, Dispersion, and Chemical Reaction of Contaminants in Groundwater Systems; Documentation and User's Guide, by Chunmiao Zheng, P. Patrick Wang, Department of Geological Sciences, University of Alabama, 1999 160 p.
- [10] Olenev N. N. Fundamentals of Parallel Programming in the MPI system-Moscow: A. A. Dorodnitsyn Computing Center of the Russian Academy of Sciences, 2005 – 81p [in Russ]
- [11] Kaltaev, A., Tungatarova, M. S. Software package for designing the placement of technological wells and monitoring the field during uranium production. // Collection of reports of the III International Scientific and Practical Conference " Actual problems of the uranium industry» - Almaty. - 2004. [in Russ]
- [12] Mazo A. B., Potashev K. A., Hydrodynamics: textbook. Manual for students of non-mathematical faculties.- Kazan, 2013. [in Russ]
- [13] Alibayeva K. A. "Numerical studies of ways to increase the production of deposits during the extraction of minerals by underground borehole leaching": dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (Ph. D) [in Russ]
- [14] Khaydarova M. E. Substantiation of the scheme of opening and exploitation of uranium deposits by the method of underground leaching – 2016 – №14. — C. 192-195 [in Russ]
- [15] Zhappar N. K., Ten O. A., Balpanov D. S., Erkasov R. Sh., Bakibaev A. A. Percolation bacterial leaching of low-grade copper ore. –2018. –№3. –C.30–37
- [16] Erdenova M. B, Kojzhanova A. K., Kamalov E. M., Abdyldayev N. N., Abubakriyev A. T. Additional recovery of gold from waste after processing of goldcontaining ores of Kazakhstan – 2018. - №2. – C. 12– 20. [in Russ]
- [17] K. G. Brovin, V. A. Grabovnikov "Forecast, search, exploration and industrial evaluation of a uranium deposit for mining by ground leaching".Moskva, 1995 [in Russ]
- [18] Berikbolov B. R., Petrov N. N., Karelin V. G. Handbook of the uranium deposits of Kazakhstan. - Astana,1996. [in Russ]
- [19] Chung T.J. «Computational fluid dynamics». Cambridge, United Kingdom, 2002.
- [20] Boitsov V. E., Vercheba A. A. Geological and industrial types of uranium deposits. Moscow, 2008. [in Russ]

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

(Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Редакторы: *М.С. Ахметова, Р.Ж. Мрзабаева, Д.С. Аленов*
Верстка на компьютере *В.С. Зикирбаева*

Подписано в печать 12.06.2021.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
11 п.л. Тираж 300. Заказ 3.