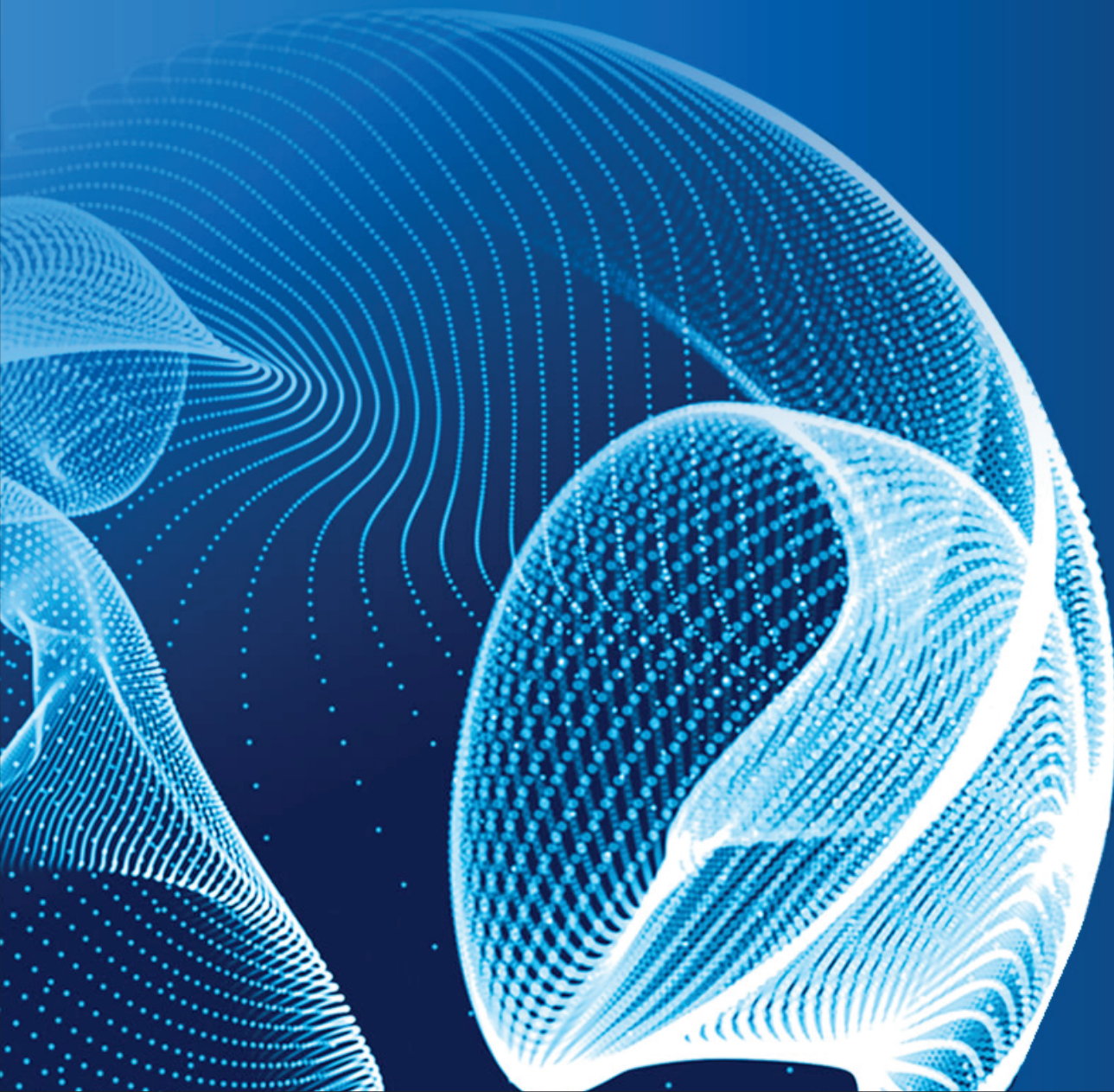


# ENGINEERING JOURNAL of Satbayev University

Volume 144 (Issue 4)  
August 2022



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN



# ENGINEERING JOURNAL OF SATBAYEV UNIVERSITY

144 (4)

**EDITORIAL TEAM**

**Ata Utku AKÇİL**, PhD, professor, Suleyman Demirel University, Turkey

**Alma A. Bekbotaeva**, Ph.D., associate professor, Geology and Oil-gas Business Institute, KazNRTU, Kazakhstan

**Adilkhan B. Baibatsha**, doctor of geological and mineralogical sciences, professor, Geology and Oil-gas Business Institute, KazNRTU, Kazakhstan

**Atac Bascetin**, Phd, professor, Istanbul Technical University, Turkey

**Madina B. Barmenshinova**, candidate of technical sciences, Mining and Metallurgical Institute, KazNRTU, Kazakhstan

**Omirsirik S. Baigenzhanov** PhD, associate professor, Mining and Metallurgical Institut, KazNRTU, Kazakhstan

**Tatiana A. Chepushtanova** PhD, candidate of technical sciences, Mining and Metallurgical Institute, KazNRTU, Kazakhstan

**Agata Duczmal-Czernikiewicz**, PhD, habilitation doctor, professor, Adam Mickiewicz University, Poland

**Vasily G. Lozinsky**, National TU Dnipro Polytechnic, Ukraine

**Serik K. Moldabaev**, doctor of technical sciences, professor, Mining and Metallurgical Institute, KazNRTU, Kazakhstan

**Brajendra Mishra**, PhD, professor, Worcester Polytechnic Institute, USA

**Kanai B. Rysbekov**, candidate of technical sciences, associate professor, Mining and Metallurgical Institute, KazNRTU, Kazakhstan

**Seltmann Reimar**, PhD, professor, Director of the Earth Sciences Department, Center for Russian and Central Asian Mineral Research (CERCAMS), Great Britain

**Atsushi Shibayama**, Ph.D., professor, Akita University, Japan

**Olena O. Sdvyzhkova**, doctor of technical sciences, professor, National TU Dnipro Polytechnic, Ukraine

**Peng Suping**, professor, academician, Chinese Mining University, China

**Khalidilla A. Yusupov**, doctor of technical sciences, professor, Mining and Metallurgical Institute, KazNRTU, Kazakhstan

***Executive secretary***

**Gulziya Burshukova**, PhD, associate professor, KazNRTU, Kazakhstan

## **РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ**

**Ата Утку (Ata Utku AKÇIL)**, Ph.D., профессор, Сүлейман Демирел Университеті, Түркия

**Бекботаева Алма Анарбекқызы**, Ph.D., қауымдастырылған профессор, Геология және мұнай-газ ісі институты, ҚазҰЗТУ, Қазақстан

**Байбатша Әділхан Бекділдаұлы**, г-м.ғ.д., профессор, Геология және мұнай-газ ісі институты, ҚазҰЗТУ, Қазақстан

**Атак Баскетин (Atac Bascetin)**, Ph.D., профессор, Ыстамбұл техникалық университеті, Түркия

**Барменшинова Мадина Богембаевна**, т.ғ.к., Тау-кен-металлургия институты, ҚазҰЗТУ, Қазақстан

**Байгенженов Өмірсерік Сабыржанұлы**, Ph.D., қауымдастырылған профессор, Тау-кен-металлургия институты, ҚазҰЗТУ, Қазақстан

**Чепуштанова Татьяна Александровна**, Ph.D., т.ғ.к., Тау-кен-металлургия институты, ҚазҰЗТУ, Қазақстан

**Агата Дучмаль-Черникевич (Agata Duczmal-Czernikiewicz)**, Ph.D., хабилит.доктор, профессор, Адам Мицкевич Университеті, Польша

**Лозинский Василий Григорьевич**, "Днепр политехникасы" Ұлттық техникалық университеті, Украина

**Молдабаев Серік Құрашұлы**, т.ғ.д., профессор, Тау-кен-металлургия институты, ҚазҰЗТУ, Қазақстан

**Бражендра Мишра (Brajendra Mishra)**, Ph.D., профессор, Вустер политехникалық институты, АҚШ

**Рысбеков Қанай Бахытұлы**, т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, Тау-кен-металлургия институты, ҚазҰЗТУ, Қазақстан

**Зельтман Реймар (Seltmann Reimar)**, Ph.D., профессор, Жер туралы ғылымдар бөлімінің директоры, Ресей және Орта Азия минералды зерттеулер орталығы (CERCAMS), Ұлыбритания

**Атсуши Шибаяма (Atsushi Shibayama)**, Ph.D., профессор, Акита Университеті, Жапония

**Сдвижкова Олена Олександровна**, т.ғ.д., профессор, "Днепр политехникасы" Ұлттық техникалық университеті, Украина

**Пенг Супинг (Peng Suping)**, профессор, академик, Қытай тау-кен университеті, ҚХР

**Юсупов Халидилла Абенович**, т.ғ.д., профессор, Тау-кен-металлургия институты, ҚазҰЗТУ, Қазақстан

## **Жауапты хатшы**

**Буршукова Гулзия Адилбековна**, Ph.D., қауымдастырылған профессор, ҚазҰЗТУ, Қазақстан

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

**Ата Утку (Ata Utku AKÇIL)**, доктор философии, профессор Университета Сулеймана Демиреля, Турция

**Бекботаева Алма Анарбековна**, Ph.D., ассоциированный профессор, Институт геологии и нефтегазового дела КазННТУ, Казахстан

**Байбатша Әділхан Бекділдаұлы**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Институт геологии и нефтегазового дела КазННТУ, Казахстан

**Атак Баскетин (Atac Bascetin)**, Ph.D., профессор, Стамбульский технический университет, Турция

**Барменшинова Мадина Богембаевна**, кандидат технических наук, Горно-металлургический институт КазННТУ, Казахстан

**Байгенженов Омирсерик Сабыржанович**, к.т.н., ассоциированный профессор, Горно-металлургический институт КазННТУ, Казахстан

**Чепуштанова Татьяна Александровна**, Ph.D., к.т.н., Горно-металлургический институт КазННТУ, Казахстан

**Агата Дучмаль-Черникевич (Agata Duczmal-Czernikiewicz)**, Ph.D., хабилит.доктор, профессор Университета Адама Мицкевича, Польша

**Лозинский Василий Григорьевич**, Национальный технический университет «Днепровская политехника», Украина

**Молдабаев Серик Курашович**, доктор технических наук, профессор, Горно-металлургический институт КазННТУ, Казахстан

**Бражендра Мишра (Brajendra Mishra)**, Ph.D., профессор, Вустерский политехнический институт, USA

**Рысбеков Канай Бахытович**, кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Горно-металлургический институт КазННТУ, Казахстан

**Зельтманн Реймар (Selmann Reimar)**, Ph.D., профессор, директор отдела наук о Земле Центра изучения полезных ископаемых России и Центральной Азии (CERCAMS), Великобритания

**Атсуши Шибаяма (Atsushi Shibayama)**, Ph.D., профессор, Университет Акита, Жапония

**Сдвижкова Олена Александровна**, доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Днепровская политехника», Украина

**Пенг Супинг (Peng Suping)**, профессор, академик, Китайский горный университет, Китай

**Юсупов Халидилла Абенович**, доктор технических наук, профессор, Горно-металлургический институт КазННТУ, Казахстан

## **Ответственный секретарь**

**Буршукова Гулзия Адилбековна**, Ph.D., ассоциированный профессор, КазННТУ, Казахстан

<https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i4.01>

## Peculiarities of the switching and memory effect in bismuth-doped radiation-resistant $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ nanoscale films

N. Almas<sup>1\*</sup>, N. Zhakiev<sup>1</sup>, S. Dyussebayev<sup>2</sup>, A. Aldongarov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Astana IT University, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup>Kazatomprom, JSC Volkovgeologiya, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

\*Corresponding author: [n.almas@astanait.edu.kz](mailto:n.almas@astanait.edu.kz)

**Abstract.** The physics and technology of noncrystalline materials is one of the rapidly developing areas of condensed matter physics, materials science, and nanotechnologies. Among the variety of materials with a non-crystalline structure, a special place is occupied by the class of chalcogenide glassy semiconductors (CGS) with unique properties and phenomena, such as the switching effect, photostructural transformations. The switching effect is observed in thin CGS films and is associated with a fast-reversible phase transition of the structure from the glassy state to the crystalline state under the action of voltage pulses or laser radiation. Based on this effect, a separate class of information carriers has been formed for non-volatile storage devices such as PCM (Phase Change Memory) with high performance and reliability. Materials for use in PCM devices are CGSs of complex compositions lying on the GeTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> quasi-binary boundary, and thin films of Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> composition are the most promising for use in PCM devices. The ability to control the electronic properties of such functional materials based on CGS significantly expands the scope of their application and is an important scientific and practical task, since traditional methods for purposefully changing the electronic properties of crystalline semiconductors, such as doping during synthesis or the thermal diffusion method, turned out to be ineffective for CGS. Impurities introduced into CGS at low concentrations by the methods indicated above usually do not show electrical activity, since they are compensated by their charged structural defects, and an increase in the impurity concentration leads to significant crystallization. In this work, the atomic composition of Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> nanosized films with a bismuth content of more than 12 at.%, obtained by ion-plasma deposition in the direct current mode, was studied by the method of energy dispersive analysis using a scanning electron microscope. In addition, the current-voltage characteristics of the samples were measured. It has been found that the transition voltage and the time, which characterize the switching and memory effects, depend significantly on the film thickness and composition. The addition of bismuth reduces the film switching time. A decrease in the film thickness leads to a decrease in the threshold voltage  $U_{th}$  and the switching time. We believe that the results of this work are useful for the development of optical memory based on phase change materials.

**Keywords:** radiation resistance, ion-plasma spraying, nanoscale film, atomic structure, phase transition, switching effect, memory.

### 1. Кіріспе

Ғарышта үнемі болатын энергетикалық электрондар, протондар және фотондар түріндегі сәулелену ол арқылы жұмыс істейтін немесе жүретін электрондық жүйелерге үлкен қауіп төндіреді. Сәулеленудің электроникаға және баспа платаларына әсері уақытша істен шығудан тұрақты тозуға немесе толық өшіруге дейін болуы мүмкін. Бұл қауіппен күресу жолдарын зерттеу аэроғарыш компанияларының, NASA мен әскерилердің басты назарында болды және болып қала береді. Бүгінгі күні ең жақсы қорғаныс ғарыштық жағдайлар үшін радиацияға төзімді электрониканы пайдалану болып табылады. Фазаны өзгертуге негізделген оперативты жады (PCRAM - Phase Change Random Access Memory) технологиясы деканометрлік диапазонға дейін масштабтау мүмкіндігі бар [1] және жоғары радиацияға төзімділігі жаңа буын перспективалықтарының бірі болып табылады [2-6]. Бұл материалдардың сәулеленуге төзімділігі олардың

құрылымындағы  $U$  – орталықтары [7] деп аталатын меншікті ақаулардың жоғары концентрациясына тікелей байланысты. Андерсон ХШЖӨ-ің легирленбеу феноменологиясын түсіндіретін модельді ұсынды. Оған сәйкес халькогенидті шыныларда тыйым салынған аумақтың ортасында Ферми деңгейін бекітетін  $U$ – минус орталықтары деп аталатын теріс корреляциялық энергиясына ие зарядталған ақаулар бар. Андерсонның болжамына сәйкес, ХШЖӨ материалдарында тор мен өзара әрекеттесетін спиндері әртүрлі екі жұпталмаған электрондар арасында тиімді тартылыс болады. Электрондар арасында оң итеруші энергия пайда болғандықтан және тордың өзі теріс зарядталғандықтан, мұндай жүйеде тиімді корреляциялық әсерлесу энергиясы теріс болады. Бұл жағдайда атомдардың жергілікті деңгейде жақындауына байланысты байланыс түзіледі. ХШЖӨ-де, әдетте,  $U$ – минус орталықтары құрылымында ұзақ мерзімді тәртіптің болмауына байланысты қос координация бұзылған, бір координацияланған халькоген

атомы түріндегі салбыраған байланыс типінің ақаулары деп саналады. Егер C20 халькогенінің (С-халькоген, 2-валенттілік, 0-заряд) сыртқы орбитальда 6 электроны болса, оның 2-і байланыс түзсе, онда 4 электрон жалғыз орбитальдарды құрайды. Егер кемтікте 1 электрон болса, онда ол бейтарап болып саналады және C10 деп жазылады. Егер кемтіктерде 2 электрон болса, онда олар C1+ және C1- деп белгіленеді. Ал мұндай екі күй арасындағы тепе-теңдік күйі былай жазылады:  $2C10 \rightarrow C1+ - C1-$ . Егер ақаулар көршілес тізбектегі ұқсас жалғыз жұппен әрекеттесе, онда байланыс пайда болады. Бұл әрекеттесу C1- кемістігіндегі 2 электрон арасындағы кулондық тебілудің орнын толтырады. Бұл өзара әрекеттесу нәтижесінде теріс корреляциялық энергиясы пайда болады.

PCRAM жады ұяшықтарының дамуы үшін перспективті қосылыстардың бірі  $Ge_2Sb_2Te_5$  жұқа қабықшалары болып саналады [8-9]. Мұндай ұяшықтардың жұмысы сыртқы электрлік импульс немесе жылу әсерінен туындаған наноөлшемді халькогенидті қабықшаларда пайда болатын, кедергінің бірнеше реттік шамадағы секіріс тәрізді өзгеруімен бірге жүретін «аморфты ↔ кристалдық күй» жылдам, қайтымды фазалық ауысуларға негізделген. Фазалық ауысулар 1960 жылдары халькогенидті шыны тәрізді жартылай өткізгіштерде табылған коммутация және жады эффектісіне негізделген [10]. Дегенмен, сыртқы әсерлер кезінде жұқа  $Ge_2Sb_2Te_5$  қабықшаларындағы фазалық ауысулардың ерекшеліктері әлі де талқылау тақырыбы болып табылады. Қоспасыз  $Ge_2Sb_2Te_5$  қабықшаларындағы қайтымды фазалық ауысуларды тікелей бақылау олардың екі сатылы табиғатын ашуға мүмкіндік берді [11]. Қабықшалардың кристалдануының бастапқы кезеңі олардың аморфты күйден поликристалды күйге, содан кейін поли- кристалдық күйден монокристалдық күйге өтуіне сәйкес келеді. Әрбір күй белгілі бір электрлік кедергіге сәйкес келеді. Аралық кедергі мүмкіндігі PC-RAM-ды көп деңгейлі сақтау үшін тамаша етеді. Аралық кедергілер PCM-де аморфты матрицадағы кристалдық түйіршіктердің мөлшері мен таралуы арқылы құрылатыны белгілі [12]. Бұл аралық қарсылық мәндері наноөлшемдегі кристалдық және аморфты фазалар арасындағы перколяцияға байланысты деп саналады. Сондай-ақ, дәлнін орташа мөлшеріне аморфты қоспасыз  $Ge_2Sb_2Te_5$  қабыршақтарын бірқалыпты күйдіру тәжірибелері көрсетілгендей, температураның бірқалыпты жылдамдығы қатты әсер етеді [13].  $Ge_2Sb_2Te_5$  қабықшаларының электрондық қасиеттерін мақсатты түрде өзгертудің тиімді әдістерінің бірі оларға қоспа енгізу болып табылады [14]. Дегенмен, көптеген шынытәріздес жартылай өткізгішті (ХШЖ) материалдар (солардың арасында GST225 құрамыда) тыйым салынған зонаның ортасына жақын орналасқан Ферми деңгейін бекітетін меншікті ақаулардың жоғары тығыздығына байланысты қоспаларға сезімталдықты көрсетеді [15]. Дегенмен, Ge-Sb-Te жүйесінің қабықшаларының қасиеттерін жақсарту тәсілдерінің бірі металл қоспасын енгізу арқылы электрондық параметрлерді өзгерту болып табылады. Ge-Sb-Te қосылысы үшін модификациялаушы қоспаны таңдау кезінде негізгі компоненттердің бірімен изовалентті және изоморфты элементті енгізу алмастыру механизмі арқылы легирлеуге мүмкіндік береді деп

болжам жасауға болады [16-18]. Сонымен қатар,  $Ge_2Sb_2Te_5$  қосылысында метатұрақты кристалдық құрылымда катионды бос орындар бар, олардың концентрациясы әртүрлі бағалаулар бойынша 10-нан 20% -ға дейін. Тиісінше, құрамдас бөліктердің бірінің өлшемдеріне жақын атомдық және иондық өлшемдері бар элементтің материалды матрицаға елеулі деформациялар енгізбестен бар бос орындарды алу мүмкіндігі бар. Висмут - осындай қоспалардың бірі. GST225-ке висмутты енгізу таза висмут қосылмаған GST225-пен салыстырғанда кристалдану уақытының 30%-ға төмендеуіне әкелетіні көрсетілген бірнеше жұмыстар бар [19, 20]. Висмут енгізілгеннен кейін жұқа GST225 қабықшаларының жарықтың Раман шашырауының спектрінде айтарлықтай өзгеріс байқалады [21]. Қазіргі уақытта зерттеушілердің күш-жігері PCRAM сияқты құрылғыларда ақпаратты сақтау және жазу параметрлерін (шекті кернеу  $U_{th}$  және коммутация уақыты  $t_{sw}$ ) жақсартуға бағытталған. Әдетте PCRAM ұяшықтар Ge-Sb-Te, Ag-In-Sb-Te және т.б. халькогенидты шынытәріздес жартылай (ХШЖ) өткізгішті қосындылардың наноөлшемді қабықшаларының негізінде жасалады. Жад ұяшықтарына қойылатын негізгі талаптар олардың бөлме температурасындағы тұрақтылығы, мәліметтерді жазу/қайта жазудың жоғары саны (циклдер саны), жылдамдық (ауысу уақыты), қуатты аз тұтыну (ауысудың төменгі шекті кернеуі). Flash NAND, DRAM және PCM сияқты тұрақты жад құрылғыларының болашағы зор. Олар қуаттылықты жоғарылатты, жоғары масштабталады, фазадан фазаға ауысу механизмі арқылы өнімділікті жоғарылатты, жоғары сенімділік пен қуаттың шығынын азайтты. Жадтың осы түрлерінің салыстырмалы параметрлері 1-кестеде келтірілген.

1-кесте. PCM жадысын аналогтармен салыстыру

Жад түрі	DRAM	Flash NAND	PCM
Жазу/қайта жазу циклдарының саны	$10^{16}$	$10^5$	$10^{12}$
1 бит ақпаратты оқу/жазу уақыты	4мс/10мс	50нс/0.4мс	70нс/(100-500)нс
CMOS технологиясына арналған маскалар саны	4	11	5
Энергетикалық тәуелсіздік	-	-	+
Ақпаратты сақтау уақыты, жылдар	-	20	шексіз
Ұяшық өлшемі, F2	6-8	5	8
Көп деңгейлі ұяшық құру	-	-	+
Радиацияға төзімділік	-	-	+
Ақпарат битінің бағасы	орташа	төмен	орташа

1-кесте PCM жадысының параметрлері аналогтармен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарға ие екенін көрсетеді, бірақ сонымен қатар жадының бұл түрлерін кең ауқымда қолдану әлі де жадта пайдалану үшін оңтайлы материалды әзірлеу және таңдау барысында. Сонымен қатар, PCM негізіндегі жаңа буын жады ұяшықтары жақын арада флэш-жад сияқты жад сақтау құрылғыларының кейбірін алмастыра алады деп күтілуде.

PCM негізіндегі жад ұяшықтарының айқын артықшылықтарына қарамастан,  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  құрамында аралық фазалық күйлердің болуына байланысты құрылғының тұрақсыздығы, белсенді аймақты қыздыру үшін жылу бөлінуінің жеткіліксіздігі және ұяшық геометриясының жетілмегендігі сияқты бірқатар кемшіліктер бар. Осы уақытқа дейін PCM негізінде жад ұяшықтарын ауыстыру параметрлерін жақсарту сұрақтары өзекті болып қала береді.

Қабықшаларды көбінесе термиялық буландыру немесе ионды-плазмалық тозандату әдістерімен алады. Бу фазалық конденсация арқылы халькогенидты шынытәріздес жартылай (ХШЖ) өткізгішті қабықшаларын өндіруде үлгінің бүкіл беті бойынша қалыңдығы мен химиялық құрамының біркелкілігін сақтай отырып, қабықшалардың құрылымы мен құрамын сақтауға күш салынады. Қажетті қасиеттері бар қабықшаларды алу үшін буланған заттардың химиялық тазалығына, камераның тазалығына, вакуум дәрежесіне және тұндыру жағдайларына ерекше талаптар қойылады. Көпкомпонентті композицияны тұндыру үшін композицияның тек ұшпа компоненттерінің булануын болдырмау үшін конденсацияның белгілі бір режимін таңдау керек. Сондай-ақ тұндыру процесінде қызып кетудің алдын алу маңызды, ал пленканың кейінгі кристалдануы кезінде салқындатылған төсенішке тұндыру қажет.

Жұқа қабықшаны тұндырудың екі әдісі бар. Бірінші әдіске резистивті қыздыру, жарылғыш (Flash) буландыру, электр доғасы сияқты қабықшалар термиялық булану арқылы алынатын әдістер жатады. Екінші әдіске буланған материал жоғары энергиялы бөлшектердің әсеріне ұшыраған кезде, буланған заттың бетінен атом шығып, төсеніште конденсацияланатындай жеткілікті энергияны бетіне тасымалдайтын процесті қамтиды. Бұл әдістерге ион-плазмалық магнетронды тозандату жатады. Термиялық әдісіне қарағанда ион-плазмалық магнетронды тозандату әдісі композицияның стехиометриясын сақтауға және қабықшаның қоспалары біркелкі таралуына мүмкіндік береді және қабықша қалыңдығының біркелкілігін сақтайды.

Бұл жұмыста таза және висмутпен модификацияланған наноөлшемді  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  қабықшаларының атомдық құрылымын зерттеу нәтижелері келтірілген. Бұл қабықшалардағы лазер сәулесінің әсерінен болатын құрылымдық ауысулар зерттелді. Бұл ауысулардың ерекшеліктерін висмут атомдары мен матрица атомдары арасындағы химиялық байланыстардың түзілуімен түсіндіруге болады. Сонымен қатар, алдын ала зерттеулер  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  қабықшаларындағы қоспа концентрациясын өзгерту арқылы тура және кері ауысудың кернеуі мен тогы, ауысу уақыты сияқты ауысу және жады эффектісінің параметрлерін тиімді басқаруға болатыны анықтады. Бұл осы материалдар негізінде жад ұяшықтарындағы ауысу және жады эффектінің параметрлерін жақсартудың жаңа мүмкіндіктерін ашады деген сенімдеміз.

## 2. Материалдар және әдістер

### *Ионды-плазмалық тозандату*

Таза және висмутпен модификацияланған  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  қабықшаларын дайындау аса таза (99.999%) жартылай өткізгіш элементтерінен синтезделген поликристалды

нысананы (AcAlloys, АҚШ) тұрақты ток магнетронды тозандату әдісімен жүргізілді. Металлмен түрлендірілген  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  қабықшалары ХШЖӨ және металдан тұратын біріктірілген нысананы ион-плазмалық шашырату арқылы алынды. Металл нысаналар шашырау аймағындағы ХШЖӨ нысанасына бетіне біркелкі орналастырылды. Қабықшалардағы металл қоспасының концентрациясының өзгеруіне металдың беттік аудандарының және ХШЖӨ нысаналарының қатынасын өзгерту арқылы қол жеткізілді. Қабықшаларды дайындаудың технологиялық процесінің параметрлері нысананың құрамы бастапқы құрамына сәйкес келетін құрылымы аморфты қабықшалар алынатын етіп өңделді. Қабықшалар модернизацияланған ВУП-4 қондырғысында  $\sim 1$  Па қысымда аргон атмосферасында алынды. Үдемелі кернеу 400 В, қабықшаның шөгудің жылдамдығы  $\approx 0.3$  нм/с болды. Қабықшалар бөлме температурасында төсеніштерге түндірілді. Төсеніш ретінде кварц, монокристалды кремний және каптон полиимидті таспалар пайдаланылды.

### *Сканирлеуші электрондық микроскопиясы*

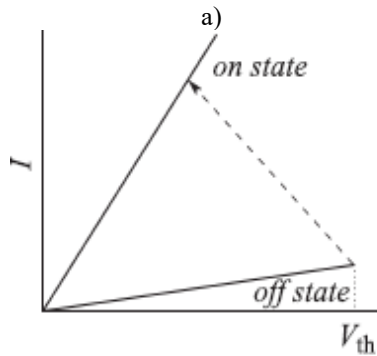
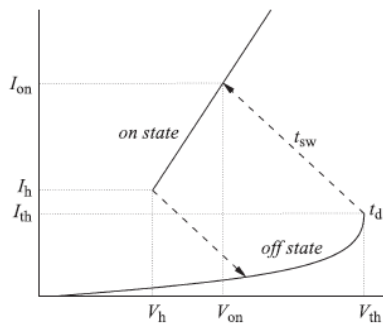
Қабықшалардың элементтік құрамы Quanta 3D 200i сканерлеуші электронды микроскоптың көмегімен энергетикалық дисперсиялық талдау арқылы бақыланды. Висмутпен легирленген  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  қабықшаларында қоспаның максималды концентрациясы 12.54%-ға жетті. Қабықшалар ластаушы заттар жоқ, үздіксіз, біртекті болды. Олардың қалыңдығы 50  $\sim$  175 нм болды. Ол кристалды кремний – GST <Bi> қабықшасының құрылымының ыдырауының энергиясы 30 кВ дейінгі электронды сәулемен сканерлеу арқылы анықталды.

### *Ауысу эффектісі*

PCM типті жадының жаңа буын ұяшықтарының жұмыс істеу принципі ауысу эффектісіне негізделген - пленканың нанокөлеміндегі фазалық ауысу, ол ток импульсі түскенде пайда болады. Ауысу эффектісі - электр импульсінің әсерінен материалдың жоғары кедергілі күйден (off-state) төмен қарсылық күйіне (on-state) қайтымды фазалық ауысуы,  $\sim 100$  нс қысқа уақыт аралығында, белгілі бір шекті кернеуге  $U_{th}$  (шектеу кернеу) жеткенде [22].

Мұндай ауысу электрөткізгіштіктің шамалардың бірнеше дәрежеге күрт өсуімен және кедергінің  $\sim 10^5$ -тен  $1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ -ге дейін төмендеуімен сипатталады. Ауысу эффектісі кезінде вольт-амперлік сипаттамасында (BAC) теріс дифференциалды кедергісі бар бөлім байқалады. Бұндай вольт-амперлік сипаттама материалда ток жібі (шнурдың) пайда болуымен жүретін электрлік бұзылу (пробой) деп аталатын процесске тән. Ток жіптері күшті электр өрістерінде ( $\sim 10^5 \text{ В/см}$ ) байқалады, мұнда I-V сипаттамасы Ом заңынан ауытқиды және оның формасы S пішінін алады. Жіптегі ток тығыздығы қоршаған көлемнен бірнеше есе көп және мұндай жіптің көлденең қимасы үлгінің көлденең өлшемінен бірнеше есе аз болғанына қарамастан, ол негізінен жіптің ішінде ағады. I-суретте ауысу және жады эффектісіне тән BAC көрсетілген [23]. Жоғары кедергілі күй «off state» күймен сипатталады, ал төмен кедергісі бар өткізгіш күй «on state» тармақ болып табылады. Сонымен, белгілі бір кернеу қолданылған кезде, тікелей өту кернеуі немесе шектеу кернеуге  $V_{th}$  (шектеу кернеу) жеткенде үлгі төмен кедергілік күйіне өтеді, ток  $I_d$  кешігу уақытынан кейін (кідіріс уақыты) күрт көтеріледі.





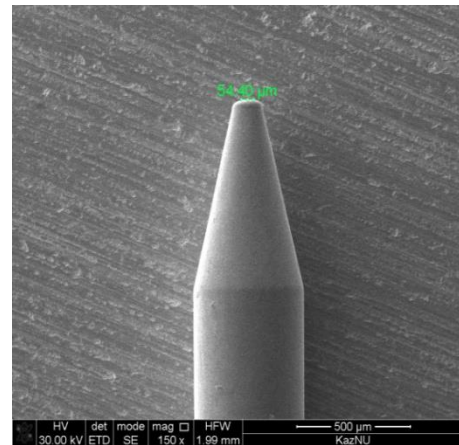
б)

1-сурет. Қайта қосылу (а) және жады (б) эффекттерінің вольт-амперлік сипаттамалары [23]

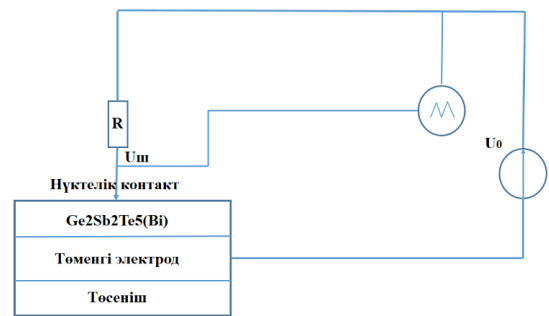
Ток  $t_{sw}$  (уақыттың ауысуы) уақытында  $I_{on}$  ток мәні бар өткізгіш төмен кедергі күйіне көтеріледі, ал егер кернеу  $V_h$  мәніне (ұстау кернеуі) азайса, үлгі бастапқы жоғары кедергі күйіне ауысады. Егер қайта қосылу әсерден кейін кернеу жойылғаннан кейін төмен кедергілік күйі сақталса, онда бұл процесс жады эффектiсi деп аталады (1, б-сурет). Ауысу және жады эффектiсi көрінетін қарапайымдылығына қарамастан, бұл процестердің физикасы әлі де қызу зерттелінуде және талқылануда.

Осы жұмыста ауысу эффектiсiн зерттеу үшін үлгілер «сэндвич» құрылымдары түрінде дайындалды. Төменгі электрод шыны негізге термиялық булану арқылы тұндырылған үздіксіз алюминий қабықшасы болды. Жоғарғы электрод ретінде алтыннан жасалған нүктелік қысым контактісі қолданылды, оның контакт аймағының диаметрі 54.4 мкм болды, сурет 2, а. Үлгілердің вольт-амперлік сипаттамаларын өлшеуге арналған қондырғының құрылымдық схемасы 2, б-суретте көрсетілген.

Актаком АНР-1011 генераторынан үлгілерге амплитудасы 10 В дейінгі ара тәріздес кернеуі қолданылды. I-V сипаттамалары Gwinstek GDS-71062A осциллографымен жазылды. Үлгі арқылы өтетін ток үлгімен тізбектей жалғанған R резисторындағы кернеудің төмендеуінен есептелді.  $U_{\text{үлгі}} = U_0 - U_{\text{ш}}$ ,  $U_0$  сыртқы генератор арқылы таңдалады. Уақыттың бастапқы сәтінде үлгінің кедергісі R кедергіден 103-ке асады және осыған байланысты тізбектегі ток («шыны-кристалдық» ауысуға дейін) үлгінің кедергісі арқылы анықталады. Генератор кернеуінің лездік мәндері мен URш арасындағы айырмашылық үлгіге түсетін кернеу болып табылады. Үлгідегі ток  $U_{\text{ш}}/R_{\text{ш}}$  мәніне тең [24].



а)

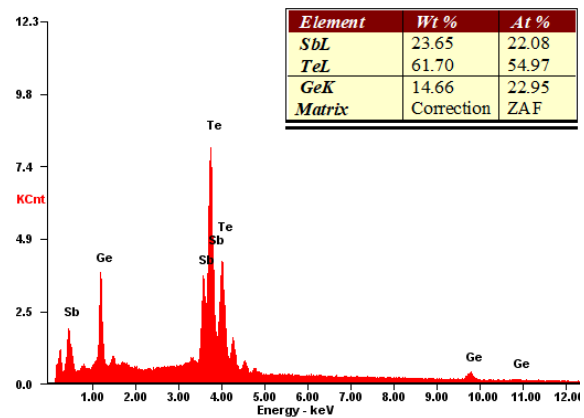


б)

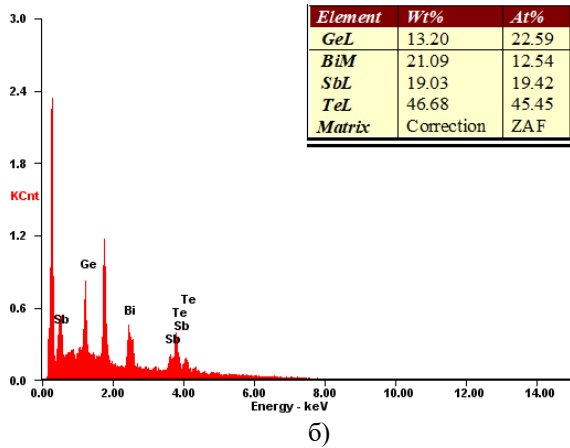
2-сурет. Алтын нүктелі контактінің микросуреті (а) және үлгілердің вольт-амперлік сипаттамаларын зерттеуге арналған қондырғының құрылымдық сұлбасы (б)

### 3. Нәтижелер және оны талқылау

Таза және висмутпен модификацияланған қабықшаларының энергетикалық дисперсиялық талдауының нәтижелері 3 а, б суреттерінде тиісінше көрсетілген. Таза қабықшалардың құрамы Ge: Sb: Te = 22.95: 22.08: 54.97 сәйкес келді. Модификацияланған қабықшалардағы висмут мөлшері 12.54 ат. % жетті, ал элементтер арасындағы қатынас Ge: Sb: Te = 22.59: 19.42: 45.45 болды. Стехиометриялық құрамнан шамалы ауытқу байқалды.

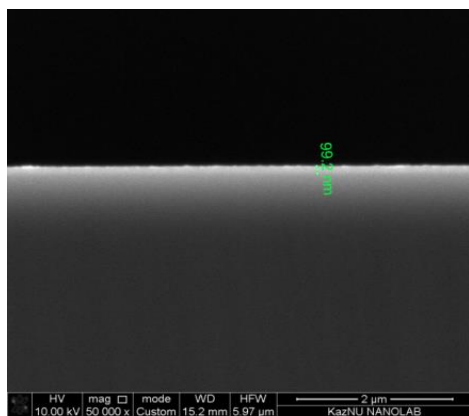


а)

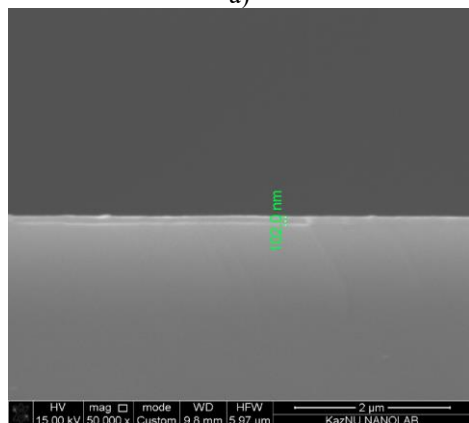


3-сурет. Таза (а) және висмутпен модификацияланған (б)  $Ge_2Sb_2Te_5$  қабықшаларының энергетикалық дисперсиялық спектрлері. Жоғары оң жақ бұрышта үлгілердің элементтік құрамы

Қабықшалардың қалыңдығы Quanta 3D 200i SEM-де c-Si/ $Ge_2Sb_2Te_5$  қабықшасы құрылымның қырын электрондық сәулемен сканерлеу арқылы анықталды. Қалыңдығы ~ 100 нм кейбір үлгілердің кескіндері 4 суретте көрсетілген.



а)

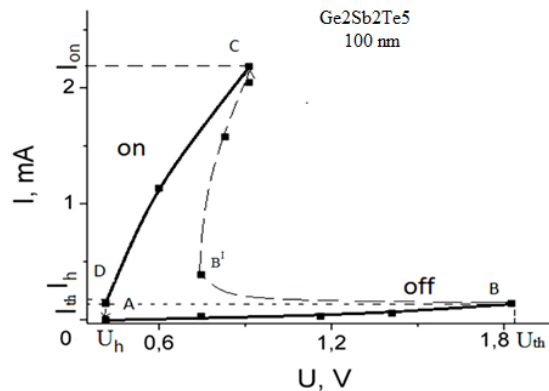


б)

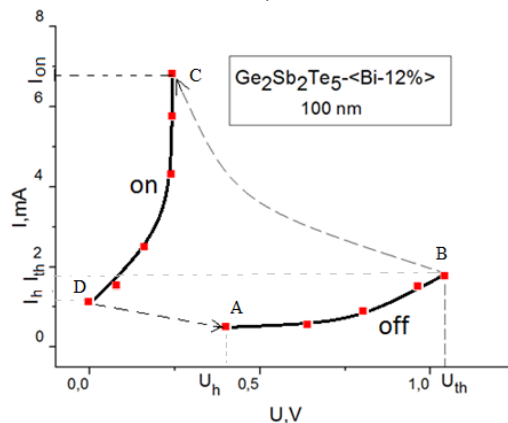
4-сурет. Жоңқалы құрылымдардың SEM кескіндері: (а) – c-Si –  $Ge_2Sb_2Te_5$ , (б) – c-Si –  $Ge_2Sb_2Te_5\{Bi\}$

5-суретте қалыңдығы ~ 100 нм  $Ge_2Sb_2Te_5$  қабықшаларының типтік тәжірибелік I-V сипаттамалары көрсетілген. I-V сипаттамасының ауысу эффектісіне тән S-пішіні бар екенін көруге болады. Ток-кернеу сипаттамасы шекті кернеу  $U_{th}$  жеткен кезде

материалдың жоғары кедергілік күйден өткізгіштік төмен кедергі күйіне ауысу уақытында пайда болатын токтың жылдам өсу аймағын көрсетеді. I-V сипаттамалары сондай-ақ  $I_{on}$  төмен қарсылық күйіндегі токтың, кері өту тогы  $I_h$ , жоғары кедергілік күйден  $I_{th}$  өткізгіш күйге өту тогы және минималды кері өту кернеуі  $U_h$  көрсетілген.



а)



б)

5-сурет. қалыңдығы ~ 100 нм (а)  $Ge_2Sb_2Te_5$  ж (б)  $Ge_2Sb_2Te_5\{Bi\}$  қабықшаларының вольт-амперлік сипаттамалары

$Ge_2Sb_2Te_5$  және  $Ge_2Sb_2Te_5\{Bi\}$  қабықшалардың ауысу эффектісінің параметрлері 2-кестеде келтірілген.

2-кесте. Қабықшалардың ауысу эффектісінің параметрлері

Құрамы	Қалыңдығы, нм	$U_{th}$ , В	$j$ , A/cm <sup>2</sup>	I, mA	$t_{sw}$ , нс
$Ge_2Sb_2Te_5$	175	4.00	86.9	2	100
	100	1.8			70
	50	1.00			50
$Ge_2Sb_2Te_5\{12at.\%Bi\}$	200	1.15	347.8	8	<50
	100	1.15			
	60	-			

2-ші кестеде келтірілген және 4-ші суреттерде көрсетілген нәтижелерді талдаудан  $U_{th}$  және  $t_{sw}$  ауысу эффектінің параметрлеріне қабықшаның қалыңдығын елеулі әсер етеді. Қабықшаның қалыңдығын 175-тен 50 нм-ге дейін азайту шекті кернеудің және ауысу уақытының сәйкесінше 4 және 2 есе төмендеуіне әкеледі.

#### 4. Тұжырымдама

Ge-Sb-Te жүйесінде ауысу эффектісі «шыны ↔ кристал» қайтымды фазалық ауысумен байланысты. Ауысу эффектісінің механизмі электронды-термиялық модель негізінде барынша толық түсіндіріледі [23]. Бұл жұмыстар ХШЖ-дегі ауысу және жады эффектілері Джоуль қыздыруымен бірге ток-кернеу сипаттамасының S пішініне жауап беретін U-минус орталықтарының көпфононды туннельдік ионизациясына негізделгенін көрсетеді. Шыны-кристал құрылымдық фазалық ауысу ХШЖ-де меншікті құрылымдық ақаулардың көпфононды туннельдік термиялық ионизациясы есебінен жүреді. Бұл ионизация өткізгіштіктің күрт жоғарылауна жол береді, ал өткізгіштіктің күрт өсуі өз кезегінде Джоуль жылуы жоғарылауна әкеледі. Сонымен, ауысу және жады эффектісі осылайша тізбектелген күрделі процесстермен қабаттасып іске асады [25].

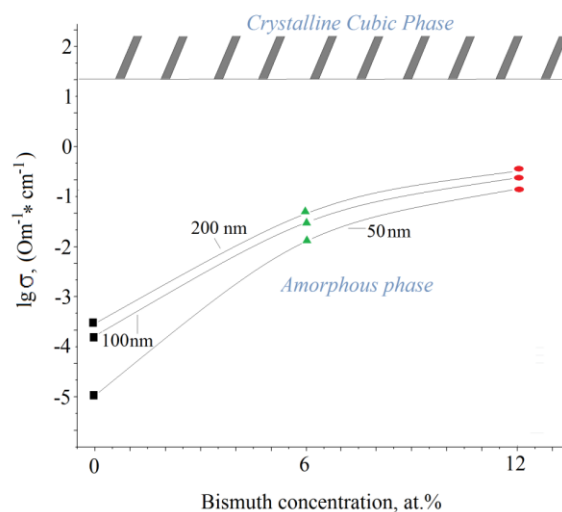
Висмут қоспасының пленкалардың электрондық қасиеттеріне әсер ету механизмін түсіндіру үшін [26]-да ұсынылған модельдік тұжырымдамаларға жүгінуге болады. Осы модельдік концепцияларға сәйкес, модификация кезінде висмут атомдарының бір бөлігі Bi-Te-, Bi-Ge, Bi-Sb матрицасының атомдарымен химиялық байланыс түзеді және электрлік белсенді емес болады. Химиялық байланыстар арасында Bi-Te байланыстары басым, өйткені бұл байланыстың энергиясы минималды мәнге ие және тұрақты Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> қосылысы белгілі. Висмут қоспасының концентрациясының жоғарылауымен оптикалық тыйым салынған аумақтың ені E<sub>g</sub> төмендейді. Ферми деңгейі қоспа концентрациясының жоғарылауымен оптикалық тыйым салынған аумақтың шамамен ортасында бекітілген болғандықтан, E<sub>g</sub> төмендеуі өткізгіштіктің активация энергиясының төмендеуіне және соның салдарынан өткізгіштіктің жоғарылауына әкеледі.

Айта кету керек, [27]-ші теориялық жұмыста молекулалық динамика әдісін қолдана отырып, Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> құрамының электрондық күйлерінің спектріне висмут қоспасының әсерін зерттеу жүргізілді. Қабықшалардағы висмут концентрациясының жоғарылауымен өткізгіштік зонаның энергетикалық жиегінің түзілуі висмут атомдарының бір электрондарының антибайланыс күйлерінен, оптикалық тыйым салынған аумақтың ені азаюына және өткізгіштік р-типтен n-типке ауысуы байқалған.

Қазіргі уақытта халькогенидті жартылай өткізгіштердегі «шыны-кристалдық» фазалық ауысуға байланысты ауысу эффектісінің механизмін түсіндірудің жалпы қабылданған тәсілі - өздігінен зарядталғанның қатысуымен ауысу кезінде токтың қысылуының электронды-термиялық механизміне негізделген тәсіл. [28]. Электрондық-термиялық модельге негізделген ауысу эффектісі бойынша соңғы теориялық жұмыстарда ХШЖӨ негізіндегі жад ұшықтарының жұмысының тиімділігін арттыру үшін ауысу кезінде ток сымдыдағы температура тұрақты алтыбұрышты поликристалды фаза түзелетін материалдың кристалдану Thex температурасына жақын мәндерге ие болу керек. Халькогенидті жартылай өткізгіштің Thex кристалдану температурасын оның құрамын өзгерту арқылы өзгертуге болады. Екінші жағынан, ионды-плазмалық

бірлесе шашырату әдісін қолдану арқылы ХШЖӨ қоспасының модификациясы негізгі жартылай өткізгіш параметрлерінің кең ауқымды өзгерістерімен аморфты материалдарды алуға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, сәйкес өзгертуші қоспаны және оның концентрациясын таңдау арқылы Thex кристалдану температурасын бақылауға болады.

Модификацияланған Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub><Bi> қабықшалардағы ауысу эффектісі параметрлерінің тәжірибе жүзінде байқалған жақсаруын түсіндіру үшін 6-суретте көрсетілген Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub><Bi> қабықшаларының өткізгіштігінің концентрацияға тәуелділіктерін қарастырайық. Сол суретте текшелік метатұрақты кристалдық фазаның пайда болуымен Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> қабықшаларының кристалдануына сәйкес келетін өткізгіштік шекарасы көрсетілген.



6-сурет. Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> және Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub><Bi> қабықшалар өткізгіштігінің қоспа концентрациясына тәуелділігі

Суреттен шығатыны, модификацияланған Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub><Bi> пленкаларында өткізгіштіктің айтарлықтай жоғарылауы орын алады себебі металдық висмуттың окшауланған монокристалды нанодомендері қабықшалардың кристалды емес матрицасында болады. Зерттелетін висмут қоспаларының концентрацияларының диапазонында Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub><Bi> қабықшаларында өткізгіштіктің перколяциялық ауысуы байқалмағандықтан, мұндай құрылымның өткізгіштігінің жоғарылауы химиялық заттардың түзілуіне байланысты матрицаның өткізгіштігінің артуы есебінен болады, висмут қоспасының бір бөлігімен матрица атомдарымен байланысады. Мұндай жүйенің аморфты күйден кристалдық күйге электрлік импульс әсерінен өтуі таза Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> қабықшаларының кедергісі жоғары матрицасының ауысуынан әлдеқайда қысқа мерзімде өтетіндігі анық.

Осылайша, Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub><Bi> қабықшаларының электрондық қасиеттерін зерттеу нәтижесінде жартылай өткізгіштердің негізгі сипаттамалары мен ауысу эффектінің параметрлерін түрлендіруші қоспаның концентрациясын және Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub><Bi> қабықшаларының қалыңдығын өзгерту арқылы басқаруға болатыны анықталды.

## Алғыс айту

Нұрлан Алмас Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің (Грант № AP13268877) «Жердің жасанды спутниктерінің радиацияға төзімді электронды компоненттерін өндіру технологиясын әзірлеу» докторантурадан кейінгі стипендиялық бағдарламасына алғыс айтады. Нұрхат Жакиев Ислам Даму Банкінің (ID2021-588606) стипендиялық бағдарламасына алғыс айтады.

## Әдебиеттер / References

- [1] Kolobov, A. V., Fons, P., Tominaga, J., Frenkel, A. I., Ankudinov, A. L., Yannopoulos, S. N., ... & Uruga, T. (2005). Why phase-change media are fast and stable: a new approach to an old problem. *Japanese journal of applied physics*, 44(5S), 3345
- [2] Rodgers, J., Maimon, J., Storey, T., Lee, D., Graziano, M., Rockett, L., & Hunt, K. (2008, November). A 4-mb non-volatile chalcogenide random access memory designed for space applications: Project status update. In *2008 9th Annual Non-Volatile Memory Technology Symposium (NVMTS)* (pp. 1-6). IEEE
- [3] Kanda, N., Thakur, A., Singh, F., & Singh, A. P. (2021). Radiation hardness of Ge {2} Sb {2} Te {5} thin films to 80 MeV Si ion irradiation. *Radiation Effects and Defects in Solids*, 176(9-10), 896-905
- [4] Maimon, J. D., Hunt, K. K., Burcin, L., & Rodgers, J. (2003). Chalcogenide memory arrays: Characterization and radiation effects. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 50(6), 1878-1884
- [5] Liang-Cai, W. U., Bo, L., Zhi-Tang, S., Gao-Ming, F., Song-Lin, F., & Bomy, C. (2006). Total dose radiation tolerance of phase change memory cell with GeSbTe alloy. *Chinese Physics Letters*, 23(9), 2557
- [6] Bernacki, S., Hunt, K., Tyson, S., Hudgens, S., Pashmakov, B., & Czubytyj, W. (2000). Total dose radiation response and high temperature imprint characteristics of chalcogenide based RAM resistor elements. *IEEE Transactions on nuclear science*, 47(6), 2528-2533
- [7] Anderson, P. W. (1975). Model for the electronic structure of amorphous semiconductors. *Physical Review Letters*, 34(15), 953
- [8] Zhao, R., He, M., Wang, L., Chen, Z., Cheng, X., Tong, H., & Miao, X. (2022). Improved multilevel storage capacity in Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub>-based phase-change memory using a high-aspect-ratio lateral structure. *Science China Materials*, 1-8
- [9] Mocanu, F. C., Konstantinou, K., Lee, T. H., Bernstein, N., Deringer, V. L., Csányi, G., & Elliott, S. R. (2018). Modeling the phase-change memory material, Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub>, with a machine-learned interatomic potential. *The Journal of Physical Chemistry B*, 122(38), 8998-9006
- [10] Ovshinsky, S. R. (1968). Reversible electrical switching phenomena in disordered structures. *Physical review letters*, 21(20), 1450
- [11] Shao, R., Zheng, K., Chen, Y., Zhang, B., Deng, Q., Jiao, L., ... & Han, X. (2016). Direct observation of structural transitions in the phase change material Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub>. *Journal of Materials Chemistry C*, 4(39), 9303-9309
- [12] Nirschl, T., Phipp, J. B., Happ, T. D., Burr, G. W., Rajendran, B., Lee, M. H., ... & Lam, C. (2007). Write strategies for 2 and 4-bit multi-level phase-change memory. *IEDM Tech*
- [13] Burr, G. W., Tchoulfian, P., Topuria, T., Nyffeler, C., Virwani, K., Padilla, A., ... & Lee, B. S. (2012). Observation and modeling of polycrystalline grain formation in Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub>. *Journal of Applied Physics*, 111(10), 104308
- [14] Prikhodko, O., Almasov, N., Dyussebayev, S., Maksimova, S., Ushanov, V., Tsendin, K., & Nesterov, S. (2013). Bismuth impurity influence on electronic properties of amorphous As<sub>40</sub>Se<sub>30</sub>S<sub>30</sub> films. *Chalcogenide Letters*, 10(12)
- [15] Mott, N. F., & Davis, E. A. (2012). *Electronic processes in non-crystalline materials*. Oxford university press
- [16] Matsunaga, T., Kojima, R., Yamada, N., Kifune, K., Kubota, Y., Tabata, Y., & Takata, M. (2006). Single structure widely distributed in a GeTe–Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> pseudobinary system: a rock salt structure is retained by intrinsically containing an enormous number of vacancies within its crystal. *Inorganic chemistry*, 45(5), 2235-2241
- [17] Wuttig, M., Lüsebrink, D., Wamwangi, D., Welnic, W., Gilleßen, M., & Dronskowski, R. (2007). The role of vacancies and local distortions in the design of new phase-change materials. *Nature materials*, 6(2), 122-128
- [18] Kolobov, A. V., Fons, P., Tominaga, J., & Ovshinsky, S. R. (2013). Vacancy-mediated three-center four-electron bonds in GeTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> phase-change memory alloys. *Physical Review B*, 87(16), 165206
- [19] Tong, F., Hao, J. H., Chen, Z. P., Gao, G. Y., & Miao, X. S. (2011). Phase-change control of ferromagnetism in GeTe-based phase change magnetic thin-films by pulsed laser deposition. *Applied Physics Letters*, 99(8), 081908
- [20] Wang, K., Wamwangi, D., Ziegler, S., Steimer, C., & Wuttig, M. (2004). Influence of Bi doping upon the phase change characteristics of Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub>. *Journal of applied physics*, 96(10), 5557-5562
- [21] Kozyukhin, S., Veres, M., Nguyen, H. P., Ingram, A., & Kudoyarova, V. (2013). Structural changes in doped Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> thin films studied by Raman spectroscopy. *Physics Procedia*, 44, 82-90
- [22] Prihod'ko, O. Ju., Djusembaev, S. A., Turmanova, K. N., Almasov, N. Zh. & Cjendin, K. D. (2013). Effekty pereklyuchenija i pamjati v chastichno kristallizovannyh amorfnyh plenkah Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub>. Mezhdunaraodnaya nauchnaya konferenciya «Aktual'nye problemy sovremennoj fiziki». *Almaty*
- [23] Bogoslovskij, N. A., & Cjendin, K. D. (2012). Fizika jef-fektov pereklyuchenija i pamjati v hal'kogenidnyh stekloobraznyh poluprovodnikah. *Fizika i tehni-ka poluprovodnikov*, 46(5), 577
- [24] Fefelov, S. A., Kazakova, L. P., Kozjuhin, S. A., Cjen-din, K. D., Arsova, D., & Pamukchieva, V. (2014). Osobnosti vol'tampnyh harakteristik v tonkih plenkah sostava Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> pri ispol'zovanii iz-meritel'noj cepi s istochnikom toka. *Zhurnal tehnichekoj fiziki*, 84(4), 80-84
- [25] Cjendin, K. D., Djusembaev, S. A. (2014). Razrabotka fundamental'nyh fizicheskih podhodov dlja poluchenija nanorazmernyh jacheek pamjati s novymi svojstvami dlja zapisi informacii na osnove modifitsirovannyh

hal'kogenidnyh stekloobraznyh poluprovodnikov (scientific report GR 0112RK02877). *Almaty: al-Farabi KazNU*

[26] Sarsembinov, Sh. Sh., Prihod'ko, O. Ju., & Maksimova, S. Ja. (2005). Fizicheskie osnovy modifikacii jelektronnyh svojstv nekristallicheskih polupro-vodnikov. *Almaty: al-Farabi KazNU*

[27] Skelton, J. M., & Elliott, S. R. (2013). In silico optimization of phase-change materials for digital

memories: a survey of first-row transition-metal dopants for Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub>. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 25(20), 205801

[28] Cjendin, K.D. (1996). Jelektronnye javlenija v hal'kogenidnyh stekloobraznyh poluprovodnikah. *SPb.: Nauka*

## Висмут қоспасы бар радиацияға төзімді наноөлшемді GE<sub>2</sub>SB<sub>2</sub>TE<sub>5</sub> қабықшалардағы ауысу және жады эффектісінің ерекшеліктері

Н. Алмас<sup>1\*</sup>, Н. Жакиев<sup>1</sup>, С. Дюсембаев<sup>2</sup>, А. Алдонгаров<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Astana IT University, Астана, Қазақстан

<sup>2</sup>Kazatomprom, Волковгеология АҚ, Алматы, Қазақстан

<sup>3</sup>Л.Н.Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

\*Корреспонденция үшін автор: [n.almas@astanait.edu.kz](mailto:n.almas@astanait.edu.kz)

**Андатпа.** Кристалды емес материалдардың физикасы мен технологиясы конденсацияланған заттар физикасының, материалтану мен нанотехнологияның қарқынды дамып келе жатқан бағыттарының бірі болып табылады. Кристалдық емес құрылымы бар материалдардың алуан түрлілігінде ауысу эффектісі, фотоқұрылымдық түрлендірулер сияқты бірегей қасиеттері мен құбылыстары бар халькогенидті шыны тәрізді жартылай өткізгіштер (ХШЖӨ) класы ерекше орын алады. Ауысу эффектісі ХШЖӨ жұқа қабықшаларында байқалады және кернеу импульстерінің немесе лазерлік сәулеленудің әсерінен құрылымның шыны күйден кристалдық күйге жылдам қайтымды фазалық ауысуымен байланысты. Осы әсердің негізінде жоғары өнімділігі мен сенімділігі бар PCM (Phase Change Memory) сияқты тұрақты жадты сақтау құрылғылары үшін ақпарат тасымалдаушылардың жеке класы қалыптасты. PCM құрылғыларында қолдануға арналған материалдар GeTe-Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> квазибинарлы кесу сызығында жатқан күрделі композициялардың ХШЖӨ болып табылады, ал Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> композициясының жұқа қабықшалары PCM құрылғыларында пайдалану үшін ең перспективалы болып табылады. ХШЖӨ негізінде мұндай функционалдық материалдардың электрондық қасиеттерін бақылау мүмкіндігі олардың қолдану аясын айтарлықтай кеңейтеді және маңызды ғылыми және практикалық мәселе болып табылады, өйткені кристалдық жартылай өткізгіштердің электрондық қасиеттерін мақсатты түрде өзгертудің дәстүрлі әдістері, мысалы, синтез кезінде қоспалау немесе термиялық диффузия әдісі ХШЖӨ үшін тиімсіз болып шықты. Жоғарыда көрсетілген әдістермен төмен концентрацияларда ХШЖӨ-ге енгізілген қоспалар, әдетте, электрлік белсенділік көрсетпейді, өйткені олар өздерінің зарядталған құрылымдық ақауларымен өтеледі, ал қоспа концентрациясының жоғарылауы айтарлықтай кристалдануға әкеледі. Жұмыста тұрақты ток режимінде ионды-плазмалық тозаңдату әдісімен алынған висмут қоспасының үлесі 12 ат. %-дан артатын Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> наноөлшемді қабықшалардың атомдық құрамы сканирлеуші электрондық микроскопта энерго-дисперсиялық талдау арқылы зерттелді. Сонымен қатар, ультракороткы вольт-амперлік сипаттамалары өлшенді. Ауысу және жады эффектісін сипаттайтын ауысу кернеуі мен уақыты қабықшаның қалыңдығына және қоспаға елеулі түрде тәуелді екені анықталды. Висмут қоспасы қабықшалардың ауысу уақытын tsw төмендетеді. Қабықшаның қалыңдығын азайту шекті кернеудің және ауысу уақытының төмендеуіне әкеледі. Бұл жұмыстың нәтижелері фазалық өзгерістер материалдарына негізделген оптикалық жадты дамыту үшін пайдалы деп еспетейміз.

**Негізгі сөздер:** радиациялық төзімділік, ионды-плазмалық тозаңдату, наноөлшемді қабықша, атомдық құрылымы, фазалық ауысу, ауысу эффектісі, жады.

## Особенности эффекта переключения и памяти в легированных висмутом радиационно-стойких наноразмерных пленках GE<sub>2</sub>SB<sub>2</sub>TE<sub>5</sub>

Н. Алмас<sup>1\*</sup>, Н. Жакиев<sup>1</sup>, С. Дюсембаев<sup>2</sup>, А. Алдонгаров<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Astana IT University, Астана, Казахстан

<sup>2</sup>Kazatomprom, АО Волковгеология, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

\*Автор для корреспонденции: [n.almas@astanait.edu.kz](mailto:n.almas@astanait.edu.kz)

**Аннотация.** Физика и технология некристаллических материалов — одно из бурно развивающихся направлений физики конденсированного состояния, материаловедения и нанотехнологий. Среди многообразия материалов с некристаллической структурой особое место занимает класс халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) с

уникальными свойствами и явлениями, такими как эффект переключения, фотоструктурные превращения. Эффект переключения наблюдается в тонких пленках ХСП и связан с быстрым обратимым фазовым переходом структуры из стеклообразного состояния в кристаллическое под действием импульсов напряжения или лазерного излучения. На основе этого эффекта сформировался отдельный класс носителей информации для энергонезависимых запоминающих устройств типа РСМ (Phase Change Memory) с высокими показателями производительности и надежности. Материалами для использования в устройствах РСМ являются ХСП сложных составов, лежащих на квазибинарной границе  $\text{GeTe-Sb}_2\text{Te}_3$ , а тонкие пленки состава  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  являются наиболее перспективными для использования в устройствах РСМ. Возможность управления электронными свойствами таких функциональных материалов на основе ХСП значительно расширяет сферу их применения и является важной научной и практической задачей, поскольку традиционные методы целенаправленного изменения электронных свойств кристаллических полупроводников, такие как легирование в процессе синтеза или метод термодиффузии оказались неэффективными для ХСП. Примеси, введенные в ХСП в малых концентрациях указанными выше способами, обычно не проявляют электрической активности, так как компенсируются их заряженными структурными дефектами, а увеличение концентрации примеси приводит к значительной кристаллизации. В данной работе методом энергодисперсионного анализа на сканирующем электронном микроскопе был исследован атомный состав наноразмерных пленок  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$  с содержанием висмута более 12 ат.%, полученных методом ионно-плазменного напыления в режиме постоянного тока. Кроме того, были измерены вольт-амперные характеристики образцов. Установлено, что напряжение перехода и время, характеризующие эффект переключения и памяти, существенно зависят от толщины пленки и состава. Добавление висмута уменьшает время переключения пленок. Уменьшение толщины пленки приводит к уменьшению порогового напряжения и времени переключения. Мы считаем, что результаты этой работы полезны для разработки оптической памяти на основе материалов с фазовым переходом.

**Ключевые слова:** радиационная стойкость, ионно-плазменное напыление, наноразмерная пленка, атомная структура, фазовый переход, эффект переключения, память.

<https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i4.02>

## Influence of alloying with titanium and molybdenum on grain size high strength pipe steel

Ye.K. Mukhambetgaliyev\*, G.D. Kusainova, S.V. Sharkaev, F.O. Tusupbekova

*Chemical and Metallurgical Institute named after Zh. Abisheva, Karaganda, Kazakhstan*

\*Corresponding author: [ye.kenzhegaliuly@gmail.com](mailto:ye.kenzhegaliuly@gmail.com)

**Abstract.** In Kazakhstan, there is a growing demand for oil and gas pipes and general-purpose pipes made of steels with high performance properties, high-quality blanks for mechanical engineering and structural steel for construction. The work was carried out within the framework of the Targeted Financing Program, in which, as one of the most urgent, the task was set to expand and improve the range of steel products of steel-smelting enterprises, which are in demand, first of all, in the domestic market. Some questions on microalloying with molybdenum and titanium are considered. The article presents the main results of experimental heats to obtain high-strength structural steel with titanium and molybdenum. Metallographic studies of experimental laboratory samples were carried out using an Olympus 51BX (TRF) light microscope. The metallographic analysis of the studied samples showed that the base steel 09G2S of the current production has a ferrite-pearlite structure. The grains have an acicular structure (the formation of polygonal ferrite) and correspond to 5-6 points. At the same time, heterogeneity is observed. The results of the study of laboratory samples alloyed with molybdenum and titanium (sample No.1 and No.2) confirm the effectiveness of the impact of microalloying elements on grain refinement, which is due to the release of a significant amount of carbonitrides of the type (MoCN, TiCN) along the grain boundaries. The microstructure of both samples consists of two well-defined phases - ferrite and pearlite, and the grain size corresponds to 7-8 points.

**Keywords:** *alloying, high-strength steel, precipitation hardening, carbonitride phases, grain refinement, ferrite, pearlite.*

### 1. Introduction

The Republic of Kazakhstan occupies one of the leading places in terms of reserves of natural resources, including the ninth in terms of oil and gas. To date, daily oil and gas production is 195.9 thousand tons and 105.9 million m<sup>3</sup>, respectively. Transportation of petroleum products to consumers is carried out under high pressure through welded steel pipes of large diameter. Severe climatic conditions for the operation of pipelines, aggressive elements such as sulfur, hydrogen and their compounds in transported products require the use of steels with high strength characteristics for the construction of oil and gas pipelines and limiting the content of harmful impurities (sulfur and phosphorus), gases (nitrogen and hydrogen) [1].

At present, the production of large-diameter spiral pipes in Kazakhstan is carried out from imported rolled products.

Mastering the production of steel for oil and gas pipelines at existing metallurgical plants located on the territory of the Republic of Kazakhstan will expand the range of products manufactured in the country and solve the problem of import substitution. Constantly growing requirements for increasing the productivity of main pipelines put forward the task of improving structural steels for large-diameter electric-welded pipes, fittings and valves.

To increase the productivity of pipelines, it is necessary to increase pressure and, consequently, use pipe steels of a higher strength class in order to avoid an increase in metal consumption (pipe wall thickness) and while maintaining or even increasing the toughness of steel, since an increase in

pressure will inevitably lead to the risk of increased stresses in the pipe wall, capable of causing destruction of the pipeline [2].

The improvement of pipe steels, aimed at increasing the strength and toughness margin, is achieved both by changing the chemical composition (reducing the carbon content, modifying, microalloying and alloying), and by using modern metallurgical technologies (smelting, rolling and heat treatment), which provide an increase in quality of the metal (decrease in the content of harmful impurities, gases, non-metallic inclusions, refinement of the structure, regulation of the phase composition) [3].

One of the well-known ways to improve the strength characteristics of pipe steels is alloying with alloys containing titanium, molybdenum, niobium and vanadium.

The main mechanism of steel hardening is grain refinement with dispersion hardening, controlled by precipitation of excess phases of carbonitrides of various types and fineness. The formation of carbonitride phases occurs even in a liquid solution through the chemical interaction of nitrogen and carbon atoms in steel with alloying elements introduced into it - titanium, molybdenum, niobium and vanadium [4].

The result of these reactions are solid and refractory microparticles of carbonitrides, which, with the achievement of the temperature of the onset of solidification of steel, play the role of centers for its bulk crystallization. It should be noted that many works are devoted to studying the behavior of carbonitride phases in high-strength low-alloy steels alloyed with strong carbonitride-forming elements, but they, for the

most part, consider the processes and parameters of the precipitation of these phases at the final stages - during rolling and cooling [5].

Hardening by dispersed particles is very effective and has become quite widespread. Moving dislocations interact with dispersed particles and experience resistance to their movement by the mechanism described by Orowan (particle bending and creation of dislocation loops) or by other mechanisms (Hirsch, Ansel and Lenel, etc.) Hardening of the alloy the more dispersed particles, the smaller the distance between them and the greater the elastic modulus of the particles of the second phase, i.e. the stronger the particles themselves. It can be assumed that the most intense hardening is observed at the stage of formation of Cottrell clouds, when the coherent bond with the matrix is still preserved. Such separation can occur both during cooling after rolling or normalization, and during tempering [6].

Less attention has been paid to the study of the formation of carbonitride phases in liquid steel and the effect of already formed carbonitrides on primary crystallization. At the same time, it is well known that the grain size of steel, formed during the casting and crystallization of ingots and slabs, has a significant and inherited effect on their final structure, and hence on the mechanical properties of finished rolled products [4].

These requirements created the prerequisites for the development of steels with higher strength, increased impact strength and resistance to ductile and brittle fracture at construction and operation temperatures, as well as with good ductility, weldability in the "field" and factory conditions, with corrosion resistance.  $S_{II}$  and cold resistance with a limited number of alloying elements.

Therefore, there is a need to create pipes of a higher strength category X100 (strength class K80) ( $\sigma_v$  760-990 N/mm<sup>2</sup>,  $\sigma_t$  690-840 N/mm<sup>2</sup>).

New requirements for sheet rolled pipe steels, the need to obtain high values of strength properties and at the same time achieve a high level of toughness require the search for new technological solutions by improving the technology of metallurgical processing in terms of optimizing the chemical composition (charge, alloying and microalloying elements) and developing thermomechanical rolling, including the use of accelerated cooling [7-9].

So, at the present time at the Chemical and Metallurgical Institute named after Zh. Abishev, work is underway to develop a technology for producing high-strength steel of X100 strength class.

Steel grade X100 is characterized by high strength and toughness combined with excellent weldability. These properties make it an ideal material for use in the offshore segment for oil and gas transportation - where pipes are constantly exposed to harsh environmental conditions such as waves, water currents and low temperatures.

The development of steel of X100 strength class is based on the concept of production of X80 steel with a high content of molybdenum, nickel, titanium, copper, vanadium and niobium, i.e. elements that increase impact strength, ductility, hardenability and weldability, and another mode of accelerated cooling. In the transition from X80 steel to X100 steel, the ferritic-bainite structure changes almost completely to bainitic.

In recent years, extensive material has been accumulated on the intermediate transformation of supercooled austenite

and the properties of bainite in structural steels. The bainite structure has a complex nature, and depending on the carbon content, alloying elements and cooling conditions, it can significantly change its morphology. According to the formation temperature, upper and lower bainite are morphologically distinguished.

Features of the bainite transformation are associated with the occurrence at temperatures where there is no diffusion of iron atoms and alloying elements, but intense diffusion of carbon occurs. This causes, firstly, the presence of a wide variety of morphological forms of the resulting phases, and secondly, obtaining a different chemical composition of these phases, which differ in carbon content. The structure and properties of steel after transformation in the bainite region largely depend on the value of carbon redistribution [10-12].

An optimal structure with a bainitic  $\alpha$ -phase can be obtained only with the correct choice of cooling conditions in the temperature range of phase transformations. In scientific papers [13-15] it is shown that the use of accelerated cooling provides an increase in the strength properties for steels of simple composition by 40-50 N/mm<sup>2</sup>, and for alloyed steels by 80-100 N/mm<sup>2</sup>, in addition, it allows eliminate the banding of the structure and reduce the anisotropy of properties.

Summarizing the literature data [7-9, 11], accelerated cooling together with microalloying makes it possible to control the processes of structure formation of low-alloy steels by using additives of elements that increase the stability of austenite during cooling, as well as changing the rate of accelerated cooling and the temperature of completion of accelerated cooling various structural components and their combination in rolling can be obtained: ferrite of various morphology, ferrite-bainite or homogeneous bainite, as well as bainite-martensite microstructure.

The microstructure consisting of granular bainite as the matrix phase is the best choice for pipeline high strength steel. The structure of bainite in high-strength steels is formed due to alloying with elements that inhibit ferrite transformation, such elements include additions of Mn, Mo, Ni, Cr, Cu and Nb, which increases the volume fraction of bainite. Molybdenum forms carbides in steels, as soon as the carbon content in the steel becomes high enough, it is able to provide additional thermal hardening during tempering of hardened steels. It increases the creep resistance of low alloy steels at high temperatures. Molybdenum additives contribute to the refinement of steel grains, increase the hardening of steels by heat treatment, and increase fatigue strength.

Molybdenum predominantly enters the solid solution, distorting the lattice of the main solid solution, thereby strengthening it [6, 7].

Low-alloy hot-rolled steel alloyed with titanium ( $\approx 0.1\%$ ) is characterized by high strength, but low ductility and toughness, while the low content of titanium in steel (0.01-0.03%) refines its primary structure, since refractory titanium nitrides formed in liquid steel serve as crystallization centers.

The degree of recrystallization of such steel during hot rolling is lower than that of coarse-grained steel, therefore, its recrystallized austenite grain is more uniform and finer.

The binding of free nitrogen to titanium nitrides is the viscosity of the finished rolled product. After crystallization, titanium, in its excess with respect to nitrogen, binds sulfur and weakens the stringiness of manganese sulfides, forming sulfides and carbosulfides, which is accompanied by some



improvement in plastic and viscous properties in the transverse direction [7].

Niobium forms NbC carbide with carbon, and NbN nitride with nitrogen, fine nitrides and carbonitrides of niobium are located along the boundaries of grains and subgrains, inhibit the movement of dislocations and thereby strengthen the steel. Niobium is an effective element for grinding grains of austenite and ferrite during heating for rolling or heat treatment. In addition, the effect of microalloying steel with niobium is to slow down the recrystallization of austenite during thermomechanical rolling due to dispersion strengthening and solid-solution transformation. The amount of niobium that passes into a solid solution when heated to a given temperature depends on the carbon content. A decrease in the carbon content in steel provides an increase in the solubility of niobium in austenite [16, 17].

Compliance with the correct ratio of alloying additives (Mo, Ti, Nb) helps to control weldability and provide an optimal balance of the content of carbon-nitride-forming elements that have a similar effect on the physical and mechanical properties of steel.

Based on the analysis of literary sources [4-7], it was established that the formation of a bainitic structure of optimal morphology is based on the following aspects of metallurgical science:

- reduction of carbon content (0.04-0.06%), which is favorable for toughness, weldability and segregation uniformity of the metal;
- increasing the degree of purity for harmful impurities and gases;
- complex microalloying of Mo, Ti and Nb in a stoichiometric ratio with nitrogen  $Ti \geq 3.4N$ ;
- reduction of harmful impurities and gases ( $\leq 0.002\% [S]; \leq 0.010\% [P]; \leq 0.006\% [N]; \leq 2 \text{ cm}^3/100 \text{ g} [H_2]$ );
- the use of thermomechanical rolling with accelerated cooling for maximum grain refinement.

In addition to the factors listed above, progress in the development of steels is accompanied by the improvement of metallurgical technology at all stages, including the desulfurization of cast iron, a complex of out-of-furnace processing, which ensures a high degree of purity of the metal.

## 2. Materials and methods

**Experimental part.** The employees of the laboratory of metallurgy and materials science of the Chemical and Metallurgical Institute named after Zh. Abisheva conducted experimental melting to obtain high-strength structural steel with titanium and molybdenum. Changes in the microstructure of steel during its alloying with titanium and molybdenum have been studied.

For the base steel, as a comparison, we have chosen the 09G2S steel grade, which is close in its chemical composition to pipe steel grades, and which is mastered at the existing steel-smelting plants of the Republic of Kazakhstan.

Experimental melting to obtain high-strength steel with titanium and molybdenum was carried out in a Tamman high-temperature furnace, in alundum crucibles in an inert atmosphere. As a charge for smelting high-strength steel alloyed with molybdenum and titanium, metal samples were used, taken at the outlet from the converter of ArcelorMittal Temirtau JSC (AMT) of the following chemical composition: C - 0.03%; Mn - 0.04%; S - 0.04%, P - 0.06%.

After melting the scrap metal, upon reaching the required melt temperature of 1635°C, the steel was deoxidized with ferrosilicon (FeSi65) (GOST 1415-93), metallic manganese (Mn 998) (GOST 6008-90) and aluminum wire (99% Al) (GOST 295-79).

Alloying of steel was carried out using ferromolybdenum (FeMo60) (GOST 4759-91) and FeTi30 (GOST 4761-91) in the amount, respectively, %: FeMn-2.23; FeSi -0.47; A99.9-0.1; FeMo60-0.57 and FeTi30 - 0.18 and from the total mass of the metal charge. The consumption of deoxidizers and alloying materials is presented in Table 1.

**Table 1. Consumption of deoxidizers and alloying agents**

Mn998, g/ 100g	FS65, g/ 100g	Aluminum wire (99.0%) g/ 100g	FeTi30 g/ 100g	FeMo60, g/ 100g
2.23	0.47	0.1	0.18	0.57

The mass of ferroalloys to be added is calculated by the formula:

$$A=(B-C) \cdot D \cdot 100 / (I \cdot F) \quad (1)$$

where: A – mass of ferroalloy, ton; B is the average content of the element in the finished steel, %; C is the content of the element in steel before deoxidation, %; D – mass of metal, considering the amount of metal from the previous heat, ton; I – is the content of the deoxidizing element in ferroalloys, %; F – assimilation of the deoxidizing element, %.

The deoxidation of the metal was carried out at the time of production based on obtaining the mass fractions of manganese, silicon and aluminum below their average values by 10.0 to 13.0%.

Table 2 shows the degrees of assimilation of elements during deoxidation and alloying.

**Table 2. Assimilation of elements during deoxidation and alloying**

Element	Assimilation, %
Silicon	95.00
Manganese	95.00
Aluminum	40.00
Molybdenum	85.0
Niobium	95.0

As a result of deoxidation and alloying with the indicated ferroalloys, prototypes of steels of the following chemical composition were obtained, table 3.

**Table 3. Chemical composition of experimental steels**

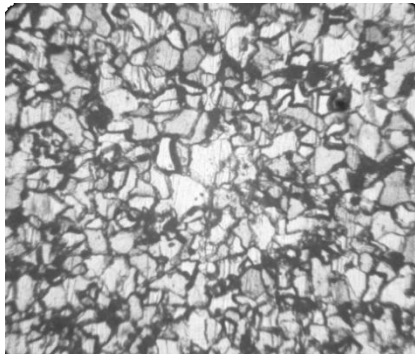
Steel grade	Content of elements, % mass							
	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ti	Al
09G2S (basic)	0.09	0.6	1.5	0.021	0.012	-	0.02	0.04
Sample 1	0.05	0.15	1.6	0.011	0.005	0.21	-	0.03
Sample 2	0.06	0.16	1.5	0.013	0.004	-	0.03	0.04

To create the same heat treatment conditions, metal samples were placed together in one muffle furnace and heated to

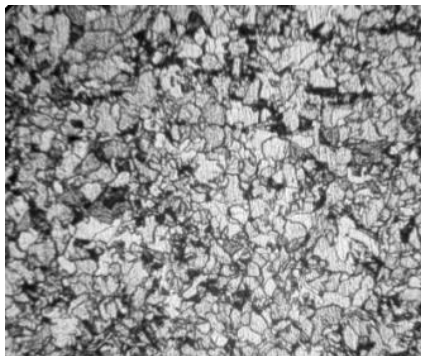
1100°C. Exposure of the samples in the oven at the specified temperature was 15 minutes. The samples were cooled with an oven to room temperature for 140 minutes.

Metallographic studies were carried out on an Olympus 51BX (TRF) metallographic microscope. The structure of the steel was determined according to GOST5638-82 (Methods for detecting and determining grain size) after pickling the samples in a 4% nitric acid solution.

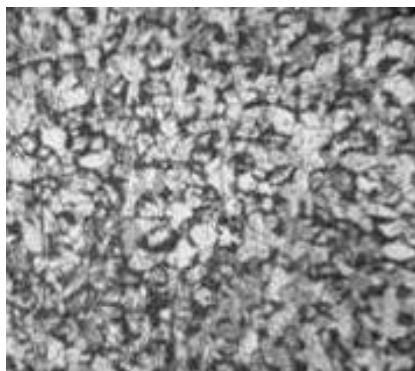
Figure 1 shows the microstructure of base steel 09G2S and experimental steels alloyed with molybdenum and titanium.



a) Grain score corresponds to 5-6. Steel 09G2S: 1 – ferrite (bright area); 2 – pearlite (dark area)



b) Grain score corresponds to 7-8. Experimental steel (sample 1) with molybdenum: 1 – ferrite (bright area); 2 – pearlite (dark area)



c) Grain score corresponds to 7-8. Experimental steel (sample 2) with titanium: 1 – ferrite (bright area); 2 – pearlite (dark area)

Figure 1. Microstructure of comparative steel 09G2S and experimental steels - sample 1; sample 2,  $\times 100$

### 3. Results and discussion

Metallographic analysis of the studied samples showed that the base steel 09G2S has a ferrite-pearlite structure. Grain score corresponds to 5-6. Insufficiency is observed throughout the thin section.

The microstructure of steel alloyed with molybdenum (sample No.1) consists of fine grains of ferrite and pearlite, the grain score corresponds to 7-8. The grain structure of this steel is equiaxed.

The microstructure of steel alloyed with titanium (sample No. 2) consists of fine grains of ferrite and pearlite, the grain score corresponds to 7-8. The grain structure of this steel is equiaxed.

The results of a metallographic study of laboratory samples confirm the effectiveness of the impact of microalloying elements on grain refinement, which is due to the release of a significant amount of carbonitrides of the type (MoCN, TiCN) along the grain boundaries.

### 4. Conclusions

Metallographic analysis of the studied samples showed that the base steel 09G2S of the current production has a ferrite-pearlite structure. The grains have an acicular structure (the formation of polygonal ferrite) and correspond to 5-6 points. At the same time, heterogeneity is observed. The results of the study of laboratory samples alloyed with molybdenum and titanium (sample No.1 and No.2) confirm the effectiveness of the impact of microalloying elements on grain refinement, which is due to the release of a significant amount of carbonitrides of the type (MoCN, TiCN) along the grain boundaries. The microstructure of both samples consists of two well-defined phases - ferrite and pearlite, the grain size corresponds to 7-8 points.

### Acknowledgements

The work was carried out within the framework of program-targeted funding of the Scientific and Technical Proceedings Program "Creation of new composite materials with high performance properties based on rare and rare earth elements" of the Industrial Development Committee of the Ministry of Industry and Infrastructure Development of the Republic of Kazakhstan.

### References

- [1] Information and analytical portal of the oil and gas industry. Retrieved from <https://metal-archive.ru/metallurgiya/769-stali-klassa-prochnosti-x100.html>
- [2] Akhmetov, A.B., Basin, V.B., Rau, A.P. & Yablonskii, V.I. (2016). Tech. Steel smelting technology for oil and gas pipes. *Industry of Kazakhstan*, 5(98), 22-25
- [3] Meskin, V.S. (1964). Basics of steel alloying. *M.: Metallurgiya*
- [4] Matrosov, Yu.I., Litvinenko, D.A. & Golovanenko, S.A. (1989). Steel for main gas pipelines. *M.: Metallurgiya*
- [5] Akhmetov, A.B., Shvetsov, A.N., Kusainova, G.D. & Dobromilov, A.A. (2016). Tech. Smelting of high-strength steel X80 with carbide hardening. *International Scientific and Practical Conference "Innovations in the complex processing of mineral raw materials"*, 405-409

- [6] Goldstein, M.I., Farber, V.M. (1979). Dispersion hardening of steel. *M.: Metallurgiya*
- [7] Goldstein, M.I., Zhitova, L.P. & Popov, V.V. (1981). Influence of titanium carbonitrides on the structure and properties of low-carbon steels. *Physics of metals and metallurgy, 6(51), 1245-1252*
- [8] Pumpyansky, D.A., Pyshmintsev, I.Yu. & Farber, V.M. (2005). Methods for hardening pipe steels. *Steel, (7), 67-74*
- [9] Rybin, V.V., Malyshevsky, V.A. (2009). High-strength steels for main pipelines. *Matters of materials science, (3), 59*
- [10] Pyshmintsev, I.Yu., Farber, V.M. (2005). Methods of hardening of pipe steels. *Steel, (7), 67-74*
- [11] Efron, L.I., Ilyinsky, V.I., Golovanov, A.V. & Morozov Yu.D. (2003). Metallurgical foundations for obtaining cold-resistant pipe steels by high-temperature controlled rolling. *Steel, (6), 69 – 72*
- [12] Chukin, M.V., Poletskov, P.P. & Koptseva, N.V. (2016). Structural-phase transformations during continuous cooling of high-strength medium-carbon complex-alloyed low-tempered steels. *Theory and technology of metallurgical production, 1(18), 57-62*
- [13] Sadovsky, V.D., Fokina, E.A. & Schastlivtsev, V.M. (1986). Residual austenite in hardened steel. *M.: Nauka*
- [14] Rodionov, D.P., Schastlivtsev, V.M., Stepanova, N.N. & Smirnov, L.V. (1986). Form of martensitic crystals in packet (lath) martensite. *Physics of metals and metallurgy, 61(1), 115-120*
- [15] Smirnov, M.A., Pyshmintsev, I.Yu. & Boryakova, A.N. (2010). Classification of microstructures of low-carbon pipe steels. *Metallurgist, (7), 45-51*
- [16] Efron, L.I., Ilyinsky, V.I., Morozov, Yu.D. & Golovanov, A.V. (2003). Development and industrial testing of tubular steel of increased strength and cold resistance with a predominantly bainite structure. *Steel, (9), 83 -87*
- [17] Matrosov, Y.I., Nasibov, A.G., Karchevskaya, N.I. & Rybakova, E.V. (1975). Niobium and vanadium carbonitrides in low-pearlite steels. *Metals, (3), 12-18*

## Беріктігі жоғары құбыр болатының түйіршік мөлшеріне титан және молибденмен легірлеудің әсері

Е.К. Мухамбетгалиев\*, Г.Д. Кусаинова, С.В. Шаркаев, Ф.О. Тусупбекова

Ж. Әбішев атындағы химия-металлургия институты, Қарағанды, Қазақстан

\*Корреспонденция үшін автор: [ye.kenzhegaliuly@gmail.com](mailto:ye.kenzhegaliuly@gmail.com)

**Андатпа.** Қазақстанда мұнай-газ құбырларына және жоғары өнімділік қасиеттері бар болаттан жасалған жалпы мақсаттағы құбырларға, машина жасау үшін жоғары сапалы дайындамаларға және құрылысқа арналған құрылымдық болатқа сұраныс өсуде. Жұмыс нысаналы қаржыландыру бағдарламасы аясында жүргізілді, онда ең өзекті мәселелердің бірі ретінде болат балқыту кәсіпорындарының сұранысқа ие болат өнімдерінің номенклатурасын кеңейту және жетілдіру міндеті қойылды, ең алдымен, ішкі нарықта. Молибден және титанмен микроқорытпалау бойынша кейбір сұрақтар қарастырылды. Мақалада титан және молибден қосылған жоғары берік құрылымдық болат алу үшін тәжірибелік қыздырудың негізгі нәтижелері берілген. Тәжірибелік зертханалық үлгілердің металлографиялық зерттеулері Olymrus 51BX (TRF) жарық микроскопының көмегімен жүргізілді. Зерттелетін үлгілердің металлографиялық талдауы қазіргі өндірістің 09G2S негізгі болатының феррит-перлит құрылымы бар екенін көрсетті. Дәндер иық тәрізді құрылымға ие (көпбұрышты ферриттің түзілуі) және 5-6 баллға сәйкес келеді. Сонымен бірге біркелкі еместігі байқалады. Молибденмен және титанмен легирленген зертханалық үлгілерді зерттеу нәтижелері (№1 және №2 үлгі) микроқорытпа элементтердің дәнді тазартуға әсер етуінің тиімділігін растайды, бұл дәнді дақылдың карбонитридтерінің едәуір мөлшерін бөлуден байланысты. түрі (MoCN, TiCN) астық шекаралары бойынша. Екі үлгінің де микроқұрылымы екі нақты анықталған фазадан – феррит пен перлиттен тұрады, дән мөлшері 7-8 баллға сәйкес келеді.

**Негізгі сөздер:** легірлеу, жоғары берікті болат, дисперсиялық беріктендіру, карбонитридті фазалар, түйіршікті ұнтақтау, феррит, перлит.

## Влияние легирования титаном и молибденом на величину зерна высокопрочной трубной стали

Е.К. Мухамбетгалиев\*, Г.Д. Кусаинова, С.В. Шаркаев, Ф.О. Тусупбекова

Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева, Караганда, Казахстан

\*Автор для корреспонденции: [ye.kenzhegaliuly@gmail.com](mailto:ye.kenzhegaliuly@gmail.com)

**Аннотация.** В Казахстане растет потребность в нефтегазовых трубах и трубах общего назначения из сталей, обладающих высокими эксплуатационными свойствами, заготовках высокого качества для машиностроения и конструкционной стали для строительства. Работы были выполнены в рамках Программы целевого финансирования, в которой, как одна из актуальных, была поставлена задача по расширению и улучшению сортамента стальной продукции

сталеплавильных предприятий, востребованной, в первую очередь, на внутреннем рынке. Рассмотрены некоторые вопросы по микролегированию молибденом и титаном. В статье приводятся основные результаты опытных плавов по получению высокопрочной конструкционной стали с титаном и молибденом. Проведены металлографические исследования опытных лабораторных образцов в световом микроскопе Olympus 51BX (TRF). Металлографический анализ исследованных образцов показал, что базовая сталь 09Г2С текущего производства имеет феррито-перлитную структуру. Зерна имеют игольчатое строение (образование полигонального феррита) и соответствуют 5-6 баллам. При этом наблюдается, разноструктурность. Результаты исследования лабораторных образцов, легированных молибденом и титаном (проба №1 и №2) подтверждают эффективность воздействия микролегировующих элементов на измельчение зерна, что обусловлено выделением по границам зерен значительного количества карбонитридов типа (MoCN, TiCN). Микроструктура обоих образцов состоит из двух хорошо выраженных фаз - феррита и перлита, размер зерна соответствует 7-8 баллам.

**Ключевые слова:** легирование, высокопрочная сталь, дисперсионное упрочнение, карбонитридные фазы, измельчение зерна, феррит, перлит.

## Analysis of the electrical characteristics influence of the current supply on the technical and economic indicators of the melting of ferrosilicochrome

A.K. Zhunusov<sup>1\*</sup>, V.I. Kulinich<sup>2</sup>, A.K. Zhunusova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

<sup>2</sup>Innovative University of Eurasia, Pavlodar, Kazakhstan

\*Corresponding author: [zhunusov\\_ab@mail.ru](mailto:zhunusov_ab@mail.ru)

**Abstract.** This article presents the results of a research of the influence of the electrical characteristics of the current lead on the technical and economic indicators of ferrosilicochromium smelting. The parameters of the operation of the furnace No.43 of the Aksu Ferroalloy Plant in connection with the change in the characteristics of the current lead during the modernization of the EPU are considered. According to the experimental results of calculations, the power  $R_u$ , the composition of the metal and slag from the production of ferrosilicochromium are have great importance, almost with a rare use of the electrical resistance of the solid charge and the electrical resistivity of the slag, regardless of the readings of the sensors and the electrical parameters of the current supply. When using computational computer-computer programs (CRP), eleven modes of network operation are used. In this paper, mode 10 is closest to the production mode. According to mode 10, the electrical parameters of the current supply have been improved. According to the conditions of experimental calculations, the power  $P_y$ , the compositions of the metal and slag of ferrosilicochromium production remain constant. Modernization of a short network and an increase in the deepening of electrodes into the charge led to a decrease in  $R_y$  to  $0.945 \div 0.958 \text{ m}\Omega$  and secondary voltage  $U_l$  to 155 V, to a decrease in the SiC content in the slag to 15.1 and a decrease in flyoff SiO<sub>2</sub> to  $67.0 \div 68.6 \text{ kg/t}$ . The deepening of the electrodes with their reduced fit increased the furnace productivity to 79.8 t, and the specific power consumption decreased by 870 kW/h·t.

**Keywords:** active resistance, short network, transformer, ferrosilicochrome.

### 1. Введение

В настоящее время отсутствуют достоверные знания и измерения фактических величин и зависимостей активно-индуктивных сопротивлений внешнего энергоподвода от особенностей конструктивного оформления и физического состояния его деталей и узлов, от электрического режима в данный период плавки. Это связано отчасти с тем, что на действующих электропечных агрегатах в процессе многих модернизаций существенно изменились конструктивные решения коротких сетей, первоначальные расчетные и справочные электротехнические и геометрические параметры электропечных установок (ЭПУ) [1-10].

При увеличении мощности и геометрических параметров печей производят реконструкцию трансформаторов и коротких сетей. Но их новые значения потерь холостого хода и короткого замыкания для трансформаторов и характеристики коротких сетей в лучшем случае рассчитывают по задаваемым ГОСТом значениям плотности тока в проводниках, процентных величин мощности и в напряжениях короткого замыкания, не выполняя холостого хода в прямых замерах. Для новых и модернизируемых электропечей активные и индуктивные составляющие сопротивления зачастую только рассчитывается по эмпирическим формулам при константах, которые далеко не безупречны [1-3].

### 2. Методы и материалы

Эффективность технологии, конструктивных и геометрических параметров ЭПУ, вместе с воздействующими факторами на величину активного сопротивления ванны ( $R_b$ ) (физико-пространственные свойства шихты, положение электродов и электрический режим) выражается в технологических затратах электроэнергии (УР-Этехн), удельного расхода электроэнергии (УРЭ), по полному металлу, выплавленному в печи в следующей формуле [4-6]:

$$УРЭ_{техн} = УРЭ_{энт} \cdot \frac{1 + \left( \frac{r_{ккс}}{R_b} \right)}{1 - \left( \frac{r_{менл}}{R_b} \right)} \quad (1)$$

где  $УРЭ_{энт}$  – удельный расход электроэнергии;  $\gamma_{тепл}$  – тепловые потери;  $R_b$  – активное сопротивление ванны.

Данная формула показывает влияние на производительность ЭПУ не столько абсолютных величин активных сопротивлений энергоподвода и ванны, сколько их соотношения, которые являются индивидуальными для каждой печи и сплава.

Именно поэтому даже слишком достоверные справочные абсолютные величины по параметрам активного

сопротивления трансформатора ( $r_{тр}$ ) и активного сопротивления короткой сети ( $r_{кк}$ ), выявленные на действующих ферросплавных печах [3-10], в отрыве от активного сопротивления ванны ( $R_v$ ) не могут свидетельствовать об эффективности технологии для данного сплава ЭПУ.

Анализ данных величин сопротивлений коротких сетей приведенных в работах [1,2] показывает, что их конструкция создается из условия обеспечения энергетического КПД около 0.915 по отношению к сопротивлению электропечной установки ( $R_y$ ), вычисленному от средних величин токов и напряжений в нагрузочной таблице принятого трансформатора, в которой энергетический КПД определяется из активной мощности на фазе потери мощности в короткой сети, т.е. вообще используют абстрактную активного сопротивления короткой сети ( $r_{кк}$ ), а активное сопротивление ванны ( $R_v$ ) не фигурирует вовсе (формула 5).

При расчете полезного фазового напряжения печей ( $U_{нф}$ ), исходя из формулы

$$U_{нф} = c \cdot P_e^n \quad (2)$$

С выбранными коэффициентами при разбегах  $c=4.6 - 5.8$  и  $n=0.25-0.38$  вычисляют вторичный линейный ток электрода ( $I_э$ )

$$I_э = \frac{P_e}{U_{нф}} \quad (3)$$

и

$$I_{\max} = (1.2 - 1.3) \cdot I_э \quad (4)$$

где  $c$  и  $n$  – коэффициенты, зависящие от вида процесса (шлаковый или бесшлаковый –  $n$ ) и от марки (электрических характеристик шихты и электрического режима –  $c$ );  $R_v$  – мощность, выделяющаяся в ванне печи, МВт.

По последнему или по току короткого замыкания рассчитывают активное сопротивление короткой сети ( $r_{кк}$ ) и определяют характеристики трансформатора из стандартного ряда [3], но с условием, что энергетический коэффициент полезного действия при условии полного использования энергии должен быть больше 0.915

$$0.915 > \left[ \eta_{КПД} = \frac{U_{нф}}{I_э} / \left( \frac{U_{нф}}{I_э + r_{кк}} \right) \right] > 0.87 \quad (5)$$

Однако такой  $\eta_{КПД}$  практически недостижим [2]. Чтобы вывести активное сопротивление короткой сети с трансформатором ( $r_{кк}$ ) из зависимости от активного сопротивления ванны ( $R_v$ ), вторичного линейного тока электрода ( $I_э$ ), плотности тока в материале вывели следующее эмпирическое выражение ( $r_{кк}$ ) для различных по типу и мощности электропечей на примере расчетов Струнского Б.М. из работы [2]

$$r_{кк} = \frac{r_{унк} \cdot x_c \cdot t_{вкл}}{t_{общ} + r_{мп} + \rho_{yc}} \cdot \left( \frac{D_э}{2} + \frac{D_p}{2 + L_{мп}} \right) \cdot \frac{T_{II}}{(S_o \cdot N_{мпн})} \cdot K_э \quad (6)$$

где  $r_{унк}$  – активное сопротивление емкостных конденсаторных батарей, о наличии которого свидетельствует тепло, выделяющееся в помещении размещения установки продольно-емкостной компенсации;  $x_c$  – емкостное сопротивление рабочее при регулируемом числе конденсаторов в батарее;  $t_{общ}/t_{вкл}$  – доля времени вклю-

ченной установки продольно-емкостной компенсации (УПК) в данном общем периоде работы печи;  $D_B$  – диаметр ванны;  $D_p$  – диаметр распада электродов;  $r_{тр}$  – сопротивление трансформаторного агрегата;  $\rho_{yc}$  – удельное электросопротивление материала (УЭС) трубошин ( $0.018-0.022$  мкОм·м);  $S_o$  – площадь сечения одной трубошины;  $N_{мпн}$  – количество труб в пакете на полюс-фазу;  $T_{II}$  – индекс типа печи (РКО-1.2, РКЗ-1.05 и т.д.);  $K_э$  – эмпирический коэффициент;  $L_{мп}$  – расстояние между выводами среднего трансформатора и внутренней футеровкой ванны.

В рассматриваемом ряде печей мощностью от 12 до 80 МВ·А справочный разбег значений активного сопротивления короткой сети с трансформатором ( $r_{кк}$ ) составляет  $0.22-0.09$  м·Ом [1].

Как правило, в активном сопротивлении короткой сети с трансформатором ( $r_{кк}$ ) различают следующие подетальные сопротивления

$$r_{кк} = r_{унк} + r_{мп} + r_{ск} + r_{мп.ш.л} + r_{г} + r_{мп.э} + r_{щ-э} + r_{э-у.шх} \quad (7)$$

где  $r_{унк}$  – активное сопротивление емкостных конденсаторных батарей, о наличии которого свидетельствует тепло, выделяющееся в помещении размещения установки продольно-емкостной компенсации;  $r_{ск}$  – сопротивление контактов (переходы шинных выводов трансформатора в трубчатые (шинные) пакеты и гибких пакетов, из трубошины в башмаках. Данных о значениях в м·Ом практически не имеется. Зависят от качества меди и болтовой сборки, также от времени нахождения в эксплуатации);  $r_{тр.ш.л}$  – трубчатые (шинные) пакеты (прогнозные расчеты по влиянию активного сопротивления внешнего энергоподвода на ведущие показатели плавки как производительность печи и удельный расход электроэнергии при сохранении технологического режима, показывают значительные экономические резервы. Так, например, при сохранении наружного радиуса медных токоведущих труб ( $R_H=25$  мм) уменьшение сопротивления с  $0.19$ к до  $0.12$ к мОм ( $k$  – доля участия трубчатых пакетов из количества ( $N$ ) труб в активном сопротивлении короткой сети с трансформатором ( $r_{кк}$ )) приведет к уменьшению внутреннего радиуса медных токоведущих труб ( $R_{внутр}$ ) с  $20$  до  $16.4$  мм, к росту массы меди в  $1.583$  раза, к росту производительности, с учетом сложившихся потерь металла со шлаком и при разливке до  $77.8$  против  $72.6$  тонн, и к снижению удельного расхода электроэнергии (УРЭ) до  $6452$  против  $6909$  кВт·ч/т);  $r_{г}$  – сопротивление гибкостей (в зависимости от позиций подвижного и неподвижного башмаков, т.е. от посадки электродов существенно изменяется индуктивное сопротивление гибкостей  $x_{г}$  (мОм). Активное сопротивление гибкостей ( $r_{г}$ ) зависит от кабельного или ленточного исполнения, степени обгара, и времени эксплуатации, со временем может повышаться на  $40-50\%$  от начального);  $r_{тр-э}$  – сопротивление токоподвода к контактным щекам электродержателя – это вертикальный водоохлаждаемых труб, зависимость такая же как у трубчатых (шинных) пакетов ( $r_{тр.ш.л}$ );  $r_{щ-э}$  – сопротивление контакта щека-электрод;  $r_{э-у.шх}$  – сопротивление участка электрода «обрез контактных щек-уровень шихты», зависит от степени скокованности и скорости срабатывания электрода. «Сырой» электрод может увеличить сопротивление токоподвода на  $20-40\%$ . Зависит от эксплуатационных характеристик самоспекающихся электродов.

Исходя из формулы 7, приведенной выше, внимание сосредоточено, в основном, на сопротивлении трансформаторного агрегата ( $r_{тр}$ ) и на сопротивлении трубчатого (шинного) пакетов ( $r_{тр.ш.л}$ ), где оценивается только допустимая плотность тока в них. Остальные составляющие практикой игнорируются как в измерении, так и в расчетах.

Конструктивно отдельные участки сети, типа контактных узлов медь-медь, объединили расчетно для уменьшения их количества и приведения их параметров к какой-то достоверной зависимости от соотношения линейных размеров, конструкции и качества выполнения.

Абсолютные, подетальные и в целом, величины сопротивлений короткой сети должны определять:

- геометрические параметры печи (включая диаметры ванны  $D_B$ , электродов  $D_Э$ , распада электродов  $D_P$ , высоты ванны  $H_B$ ), установка трансформатора в плане, высота размещения и габариты короткой сети;

- качество материалов, конструктивное оформление и качество исполнения;

- соблюдение требований работоспособности материальных конструкций сети с допустимой плотностью тока при его максимально возможной величине;

- характер выплавки ферросплавов (т.е. отношение  $r_{кк}/R_B$  и  $r_{тепл}/R_B$  должны быть менее 0.15 и различными в ряду марганцевых, кремнистых и хромистых сплавов);

- но не задаваемые или требуемые значения электрического КПД, коэффициента мощности печного трансформатора ( $\cos\phi$ ) и неконкретная мощность  $P_B=U_{пф} \cdot I_Э$ , предполагающая любые соотношения полезного фазного напряжения ( $U_{пф}$ ) и тока ( $I_Э$ ) при  $U_{пф} \cdot I_Э=const$ .

### 3. Результаты и обсуждение

Рассмотрим параметры работы печи №43 ферросплавного цеха №4 Аксуского завода ферросплавов (г. Аксу, Павлодарская область) в связи с изменением характеристик токоподвода при модернизации электропечной установки (ЭПУ). Геометрические и электротехнические параметры электропечи №43 представлены в таблице 1.

Таблица 1. Геометрические и электротехнические параметры электропечи №43

Электропечи	Проектные геометрические параметры, м					
	Диаметр электрода, $D_Э$	Диаметр распада электродов, $D_P$	Диаметр ванны, $D_B$	Диаметр колошника, $D_K$	Высота ванны, $H_B$	Высота воронки, $h_в$
Печь № 43	1,4	3,90	7,9	10,0	2,93	0
Электротехнические параметры, $r$ и $x$ в мОм						
Электропечи	Активное сопротивление короткой сети с трансформатором, $r_{ккк}$	Индуктивное сопротивление, $x_{ккк}$	Индуктивное сопротивление с УПК, $x_c$	Линейное напряжение, $U_л, В$	Ступени вторичного напряжения, $U_л C_m, В$	Мощность печи, $S, МВ \cdot А$
Печь № 43	0,19	0,37	0,676	140-230	23	25

По условиям экспериментальных вычислений, мощность  $P_y$ , составы металла и шлака производства ферросиликохрома остаются постоянными, практически при постоянном удельном электросопротивлении твердой шихты  $УЭС_{штв}=10.77-10.74$  мОмм и удельного электросопротивления шлака  $УЭС_{шл}=1.7-2.02$  мОмм независимо от положения электродов и электротехнических параметров токоподвода.

Перечень выборочных параметров из расчетных данных компьютерно-расчетных программ (КРП) с полным объемом составляет:

1. Назначаемые параметры работы печи:

- сопротивления короткой сети ( $r_{кк}$ ), индуктивное сопротивление короткой сети ( $x_{кк}$ ) и индуктивное сопротивление сети с установкой продольно-емкостной компенсацией ( $x_{сУПК}$ ), мОмм;
- диаметр электродов ( $D_Э$ );
- длина погруженной в ванну печи ( $h_э$ ) и общая длина ( $h_{э0}$ ) электродов;
- посадка электродов ( $\Pi$ ), м.

2. Варьируемые параметры для соблюдения постоянными мощности ( $P_y$ , МВт) и равенства  $R_{тдрСРП} = R_{тп}$ , атм:

- вторичное линейное напряжение ( $U_л, В$ );
- объем жидкой фазы в слое стенок тигля основного ( $qV_{жто}$ );
- порозность шихты ( $q\Pi_3$ );

- высота твердой шихты ( $h_{штв}$ ) через коэффициент  $k/h_{штв}$ ;

- коэффициент обратного конуса шихты  $k/обр.к$ , в  $q$ -доле;

- регулировочный коэффициент тепловых потерь или условного сопротивления тепловых потерь ( $k/тепл$ ),  $q$  к балансу выделения энергии в магматическом блоке ( $P_{м.бл}$ );

- структурные составы металлов и шлаков в суммарном равновесном процессе (СРП).

3. Расчетные электротехнические параметры печи:

- площадь сечения фактическая ( $S_{факт}$ , кВА);
- активная мощность ( $P_y$ , МВт);
- линейное напряжение ( $U_л, В$ );
- вторичный линейный ток электрода ( $I_Э$ , кА);
- активное сопротивление электроустановки ( $R_y$ ) и индуктивное сопротивление электроустановки ( $X_y$ ), мОм;
- коэффициент мощности печного трансформатора ( $\cos\phi$ );
- мощность электрических потерь ( $P_{эл.потерь}$ ), МВт;
- мощность ( $P$ ) и нагрузка ( $q_{тепл}$ ) к мощности установки ( $P_y$ ),
- энергетический КПД;
- мощность, выделяющаяся в ванне печи ( $P_в$ ), МВт;
- мощность энтальпийная ( $P_{энт}$ ), МВт;
- плотности тока в электроде ( $i_э$ ) и в контактных щетках ( $i_{щек}$ ),  $кА/м^2$ .

При проведении расчетов КРП использовали одиннадцать режимов работы печи. В данной работе рассматривается наиболее приближенный для производственных условий режим 10.

Таблица 2. Электротехнические параметры токоподвода

№ режима работы печи	Линейное напряжение, $U_{л}, В$	Вторичный линейный ток электрода, $I_{л}, кА$	Агрегатная твердожидкая зона стенок тигля через коэффициент, $K/жст$	Порозность шихты, $qПз$	Высота твердой шихты через коэффициент, $к/штв$	Коэффициент обратного конуса шихты, $к/обр.к$	Условное сопротивление тепловых потерь, $к/теп$	Расчетное давление СО в газовом пузыре термодинамического моделирования, $P_{тдр}/гп, кПа$	Температура термодинамического равновесия в суммарном равновесном процессе, $T_{тдр} СРП, °K$
Базовый	157	85.5	0.375	0.81	0.5	1.0	1.0	3.19	1970
Режим 10	155	86.0	0.200	0.81	0.8	0.98	0.878	3.123	1990
№ режима работы	Активное сопротивление ванны, $R_{в}, мОм$	Сопротивление твердой шихты, $R_{штв}, мОм$	Сопротивление слоя столба шихты, $R_{стб}, мОм$	Сопротивление дуги, $R_{дуг}, мОм$	Сопротивление магматического блока, $R_{м.бл}, мОм$	Мощность, выделяющаяся в ванне печи, $P_{в}, кВт$	Мощность выделяющаяся твердой шихтой, $P_{штв}, кВт$	Мощность выделяющаяся со стенок тигля основных, $P_{сто}, кВт$	Мощность электродуги, $P_{дуг}, кВт$
Базовый	0,76	2.47	1.46	2.97	1.70	16981	5272	8972	1774
Режим 10	0.79	1.40	3.35	2,74	1.49	17652	10016	4320	2148

Заглубление электродов на 0.8 м с пониженной посадкой 0.9 м вместе со снижением активного сопротивления короткой сети с трансформатором  $r_{ккс}$  до 0.15 и индуктивного сопротивления  $x_{ккс}$  до 0.4 мОм резко изменило распределение энергии  $P_1$  по зонам с увеличением мощности выделяющаяся твердой шихтой ( $P_{штв}$ ), почти в два раза, за счет увеличения высоты твердой шихты  $h_{штв}$  до 1.411 м против 0.8 м по базовому и это при постоянном качестве и порозности шихты. Уменьшение выделения энергии мощности стенок тигля основных ( $P_{сто}$ ) до 4320÷8972 кВт снизило объем жидкой фазы с уменьшением ее плотности до 2131/2309 кг/м<sup>3</sup>.

#### 4. Выводы

Таким образом, модернизация короткой сети и увеличение заглубления электродов в шихту привели:

- к значительному снижению активного сопротивления ( $R_y$ ) до 0.945÷0.958 мОм и вторичного напряжения  $U_{л}$  до 155 В;

- к снижению содержания SiC в шлаке до 15.1 и снижению улета SiO<sub>2</sub> до 67.0÷68.6 кг/т, что способствовало увеличению металла до 815.2 кг/т рудного сырья;

- радиус активного схода шихты  $R_a$  придвинулся к внутренней футеровке до 0.398 м вместо 0.528 м, улучшилось отношение  $R_p/R_a$  до 1.217 ( $R_p$  – радиус распада электродов);

- заглубление электродов с их пониженной посадкой повысило производительность печи до 79.8 т, а удельный расход электроэнергии снизился до 6234 кВт/ч·т или на 870 кВт/ч·т.

#### References

[1] Danziss, Ia.V., Kazevich, L.S., Zhilov, G.M., Mitrofanov, N.N., Rosenberg, V.L. & Cherenkova, I.M. (1987). Korotkie seti i elektricheskie parametry dugovykh elektropechey. *M.: Metallurgia*

[2] Strunskiy, B.M. (1982). Rasschety rudnotermicheskikh pechey. *M.: Metallurgia*

Режим 10 - электротехнические параметры токоподвода (таблица 2) подверглись модернизации до значений  $r_{ккс}=0.15$ ,  $x_{ккс}=0.4$ ,  $x_{сУПК}=0.4732$  мОм, а положение  $h_{э}$  изменилось (м):  $h_{э0}=2.7$ ;  $\Pi=0.9$ ;  $h_{э}=1.8$ .

[3] Kulinich, V.I., Golovachev, N.P., Suslov, A.V., Klimenko, V.F. & Varkentin, P.P. (2007). Determining the active-inductive components of the impedance in electrofurnace power-supply components. *Steel in Translation, 37(6), 524–531*

[4] Suslov, A.V., Kulinich, V.I., Shcherbatykh, V.M., Zamylov, V.G. & Bastrykin, V.Yu. (2008). Distribution of the energy and electrical parameters of furnaces of different power according to the PET program. *Steel in Translation, 38(2), 158–160*

[5] Kulinich, V.I., Suslov, A.V., Chikhichin, V.Y., Rodygin, A.V. & Masalov, V.P. (2010). Methods of predicting technological developments and simulating electrofurnaces in the smelting of ferrochrome. *Steel in Translation, 40(4), 347–354*

[6] Kulinich, V.I., Zhunusov A.K., Tolymbekova, L.B. (2015). Analiz vyplavki ferrosilichroma pri primeneni razlichnyh colichestv uglerodistykh vosstanoviteley. *Vestnik KazNTU, 2(108), 414-419*

[7] Kulinich, V.I., Zhunusov A.K., Tolymbekova L.B. & Zhunusova A.K. (2016). Modelirovanie veschestvennogo stroenia vannы rudovosstanovitelnoy electrichekoy pechi. *Vestnik KazNITU, 4(116), 425-429*

[8] Sariev, O., Kelamanov, B., Zhumagaliyev, Y., Abdirashit, A. & Almagambetov, M. (2020). Remelting the high-carbon ferrochrome dust in a direct current arc furnace (DCF). *Metallurgiya, 59(4), 533-536*

[9] Zayakin, O.V., Zhuchkov, V.I. & Leont'ev, L.I. (2018). Electric Furnace Bath Structure During High-Chromium Ferrochrome Production. *Metallurgist, 62(5-6), 493-50*

[10] Shabanov, E.Z., Baisanova, A.M., Grigorovich, K.V., Inkarbekova, I.S. & Samuratov, E.K. (2020). Phase Transitions on Heating a Mixture of Chromium Ore with Aluminosilicochrome as a New Reducing Agent. *Metally, (6), 634-639*



## Ферросиликохромды балқытудың техникалық-экономикалық көрсеткіштеріне берілетін токтың электрлік сипаттамаларының әсерін талдау

А.К. Жүнісов<sup>1\*</sup>, В.И. Кулинич<sup>2</sup>, А.К. Жүнісова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Торайғыров университет, Павлодар, Қазақстан

<sup>2</sup>Инновациялық Еуразия университеті, Павлодар, Қазақстан

\*Корреспонденция үшін автор: [zhunusov\\_ab@mail.ru](mailto:zhunusov_ab@mail.ru)

**Андатпа.** Бұл мақалада ток өткізгіштің электрлік сипаттамаларының ферросиликохромды балқытудың техникалық-экономикалық көрсеткіштеріне әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. ЭПУ жаңғырту кезіндегі ток өткізу сипаттамаларының өзгеруіне байланысты Ақсу феррокорытпа зауытының №4 феррокорытпа цехтың №43 пешінің жұмыс параметрлері қаралды. Эксперименттік есептеу шарттары бойынша  $R_{\Sigma}$  қуаты, ферросиликохром өндірісінің металл және қож құрамы, электродтардың және ток өткізгіштің электрлік параметрлерінің орналасуына қарамастан, қатты шикіқұрамның үлесті электр кедергісі және қождың үлесті электр кедергісі тұрақты болып қалады. Компьютерлік-есептік бағдарламаларды (КЕБ) есептеу кезінде пештің он бір жұмыс режимі пайдаланылды. Осы жұмыста өндірістік жағдай үшін ең жақын режим 10 қарастырады. Модернизацияға режим 10 бойынша ток өткізгіштің электрлік параметрлері өткізілді. Эксперименттік есептеу шарттарына сәйкес  $R_{\Sigma}$  қуаты, ферросиликохром өндірісінің металл және қож құрамы тұрақты болып қалады. Қысқа желіні модернизациялау және электродтарды қожда тереңдетудің жоғарылауы  $R_{\Sigma}$ -дың  $0.945 \div 0.958$  Мом-ға дейін және  $U_{\Sigma}$  екінші кернеуінің 155 В дейін төмендеуіне, қождағы SiC құрамының 15.1-ге дейін төмендеуіне және SiO<sub>2</sub>-нің  $67.0 \div 68.6$  кг/т. дейін төмендеуіне әкелді. Электродтардың тереңдеуі олардың төмен қонуымен пештің өнімділігін 79.8 тоннаға дейін арттырды, ал электр энергиясының нақты шығыны 870 кВт/сағ·т төмендеді.

**Негізгі сөздер:** белсенді кедергі, қысқа желі, трансформатор, ферросиликохром.

## Анализ влияния электротехнических характеристик токоподвода на технико-экономические показатели выплавки ферросиликохром

А.К. Жунусов<sup>1\*</sup>, В.И. Кулинич<sup>2</sup>, А.К. Жунусова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Торайғыров университет, Павлодар, Казахстан

<sup>2</sup>Инновационный Евразийский университет, Павлодар, Казахстан

\*Автор для корреспонденции: [zhunusov\\_ab@mail.ru](mailto:zhunusov_ab@mail.ru)

**Аннотация.** В данной статье приводятся результаты исследования влияния электротехнических характеристик токоподвода на технико-экономические показатели выплавки ферросиликохрома. Рассмотрены параметры работы печи №43 Аксуского завода ферросплавов в связи с изменением характеристик токоподвода при модернизации ЭПУ. По условиям экспериментальных вычислений, мощность  $R_{\Sigma}$ , составы металла и шлака производства ферросиликохрома остаются постоянными, практически при постоянном удельном электросопротивлении твердой шихты и удельного электросопротивления шлака независимо от положения электродов и электротехнических параметров токоподвода. При проведении расчетов компьютерно-расчетных программ (КРП) использовали одиннадцать режимов работы печи. В данной работе рассматривается наиболее приближенный для производственных условий режим 10. По 10 режиму электротехнические параметры токоподвода подверглись модернизации. По условиям экспериментальных вычислений, мощность  $R_{\Sigma}$ , составы металла и шлака производства ферросиликохрома остаются постоянными. Модернизация короткой сети и увеличение заглубления электродов в шихту привели к снижению  $R_{\Sigma}$  до  $0.945 \div 0.958$  мОм и вторичного напряжения  $U_{\Sigma}$  до 155 В, к снижению содержания SiC в шлаке до 15.1 и снижению улета SiO<sub>2</sub> до  $67.0 \div 68.6$  кг/т. Заглубление электродов с их пониженной посадкой повысило производительность печи до 79.8 т, а удельный расход электроэнергии снизился на 870 кВт/ч·т.

**Ключевые слова:** активное сопротивление, короткая сеть, трансформатор, ферросиликохром.

<https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i4.04>

## About the metallogeny of Kazakhstan and its significance for the forecast of mineral deposits

B.M. Rakishev\*

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

\*Corresponding author: [bolat\\_rakishev@mail.ru](mailto:bolat_rakishev@mail.ru)

**Abstract.** The metallogeny of Kazakhstan is considered from the standpoint of the concept of the Earth's crust stepwise development and geotectonogens. Using examples, new regularities are established that significantly complement the well-known scientific and theoretical ideas about metallogeny and the forecast of minerals, which have not previously been given due attention. Currently, for many priority types of minerals, especially those that are city-forming, there is already an acute shortage. Therefore, the replenishment of mineral reserves is an extremely urgent and important task for the country. In solving the problem, the predictive-metallogenic direction of the metallogenic school of Kazakhstan, which was founded by K.I. Satpaev. We have described new regularities in the formation and distribution of mineral deposits, especially unconventional ones. In selected promising areas, nodes and areas, large-scale integrated forecasting and prospecting and exploration work is proposed. Considering the established patterns, special attention is paid to the ore content of the Precambrian, Volcanogenic belts, Weathering crusts and stratiform mineralization. The role of predictive metallogenic studies of regional, special and local is shown, with an analysis of existing and new materials based on the latest scientific ideas. The use of advanced technologies will make it possible to establish new patterns of the deposit's development in time and space, to identify new, including non-traditional ore-bearing areas for Kazakhstan.

**Keywords:** *metallogeny, geochemistry, economic minerals, raw material resources, mineral deposits, predictive metallogenic research.*

### 1. Введение

Обеспеченность минерально-сырьевыми ресурсами страны – это и политика, и экономика, и национальная безопасность. Роль минерально-сырьевых ресурсов для экономики страны и хозяйственной деятельности человека неуклонно возрастает в связи с ростом потребления минерального сырья и расширением перечня используемых полезных ископаемых с привлечением все новых и новых их видов, потребность и цены, на которые постоянно растут. Из-за крайне неравномерного размещения месторождений полезных ископаемых по регионам и странам проблема обеспечения минеральным сырьем становится исключительно актуальной.

Ограниченность и невозобновляемость потенциала недр ставят обеспеченность минерально-сырьевой продукцией в число наиболее важных проблем, определяющих межгосударственные отношения и общемировую политико-экономическую обстановку. Борьба за источники дешевого сырья, а следовательно, за экономическое процветание и высокий жизненный уровень становится определяющим фактором как мировой экономики, так и геополитики. Минеральные ресурсы также во многом определяют развитие производительных сил и более полное использование трудовых ресурсов.

Восполнение минерально-сырьевой базы является одной из основных предпосылок успешного роста экономики страны как на этапе индустриального становления, так

и в период инновационного развития. Словом, минерально-сырьевые ресурсы являются источником экономического процветания, независимости и прогресса стран.

Минерально-сырьевые ресурсы остаются основой экономики Казахстана и, как показали наши исследования, могут быть базисом дальнейшего успешного развития и перспективы обнаружения различных полезных ископаемых достаточны для полного удовлетворения потребности страны и в будущем.

Открытие месторождений – это путь в неизведанное и, по сути, сложный исследовательский процесс. Полученные научные данные уже в середине XX века начали показывать, что распределение месторождений подчиняется определенным закономерностям. Их выявление и на основе этого прогнозирование открытия различных месторождений обусловлено появлению важного научного направления металлогении и синтезирующего достижения геологических знаний. Ценность этого направления в Казахстане была доказана впервые проведенными под руководством К.И. Сатпаева работами по Центральному Казахстану, заслуженно удостоенными Ленинской премии.

Таким образом, решение этой научно-практической задачи актуально, она имеет важное социально-экономическое значение и по многим полезным ископаемым является определяющей экономикой страны.

## 2. Методы и материалы

Сатпаевская металлогеническая школа Казахстана стала у истоков прогнозно-металлогенического направления, их лидерство признается во всем мире [1].

Инновационно-комплексные межведомственные и междисциплинарные работы впервые были начаты на основе разработанной модели ступенчатого развития земной коры и геотектоногенов по инициативе и под руководством одного из лидеров прогнозно-металлогенической школы, академика, лауреата Ленинской и Государственной премий СССР и КазССР Г.Н. Щербы [2-7]. С позиции мобилизма также впервые построены минерагеническая карты и карта мезозой-кайнозоя Казахстана при поддержке и непосредственном участии профильного министерства-С.Ж. Даукеев и Комитета геологии и недропользования- Б.С.Ужкенов и С.А. Акылбеков и ученых Института геологических наук, созданного К. И. Сатпаевым и носящего его имя-Х.А. Беспаяв, Н.М. Жуков, Л.А. Мирошниченко, Б.М. Ракишев [8,9].

Для реализации полученных прогнозов нужен второй этап исследований в выделенных перспективных зонах, бассейнах, горнорудных районах. Учитывая достаточно высокую изученность территории Казахстана с поверхности, в решении проблемы нами на первый план выдвигаются поиск и оценка скрытых месторождений на глубине и под чехлом рыхлых отложений. В современных условиях горнорудного производства именно такие объекты являются главным резервом восполнения минерально-сырьевых ресурсов.

При разработке методики и проведения металлогенического прогноза были учтены следующие положения:

1) по мере развития науки были получены новые революционные знания о Вселенной, планете Земля, кардинально изменившие представления о геологическом развитии и строении недр и образовании месторождений полезных ископаемых;

2) общее истощение невозобновляемых сырьевых ресурсов вызвало необходимость вовлечения в разработку труднодоступных месторождений со сложными горно-геологическими условиями и объектов с невысоким качеством сырья и низким содержанием полезных компонентов. Учитывая достаточно высокую изученность большинства горнорудных регионов с близкой поверхности, для решения проблемы начались работы по поиску и оценке скрытых месторождений на глубине и под чехлом рыхлых отложений, включая и их нетрадиционные типы;

3) в условиях осложнения задачи прогноза и поисков месторождений, большую роль начинает играть неоднородность, нелинейность геологической среды, неинвариантность геологических закономерностей и т. д.;

4) задачи, решаемые ранее в рамках одной дисциплины, все больше требуют мультидисциплинарного комплексного подхода, поскольку причины и реальные формы проявления природных процессов образования месторождений более сложны и многофакторны и их изучение требует комплексного подхода, нередко выходящего вообще за круг геологических наук и включающего их лишь как один из компонентов.

Вышеперечисленные положения явились важным фактором, побуждающим к развитию инновационной деятельности, необходимостью создания и освоения но-

вых концепций, принципиально новых методологий и наукоемких технологий с целью повышения эффективности прогноза, поисков и разведки полезных ископаемых.

Так, в Казахстане успешно развиваются инновационные подходы для прогноза полезных ископаемых [10], основанных на новых теоретических положениях с использованием дистанционных космогеологических исследований [11-13] и новых технологий переработки минерального сырья [14].

При этом комплексность прогнозирования, в нашем понимании, рассматривается как анализ всей совокупности геологических и других данных во взаимосвязи и взаимообусловленности, где нет незначительных фактов, в какой бы области геологических или других знаний они не были установлены – все они имеют свои важные прогнозно-металлогенические следствия. То есть, мы проводили анализ всей совокупности геологических и других данных с целью выявления наиболее вероятных мест локализации полезных ископаемых в земной коре, что предопределяло необходимость рассматривать явления рудообразования в их единстве и сложной взаимосвязи с тектоническими движениями, магматической деятельностью, метаморфизмом, с процессами осадконакопления и т. д. В первую очередь при прогнозе устанавливали связь геодинамического развития тектонических структур и процессов рудообразования с применением новых технологий геофизических, геохимических, космических и других.

Начало XX века ознаменовалось в истории геологических знаний крупнейшим событием – рождением геохимии [15, 16].

Эта новая отрасль геологии с ее важными проблемами и широкими возможностями не получила соответствующего развития пока на стыке тысячелетий не создались выше и нижеприведенные изменения обстоятельств и условия, кардинально изменившие стратегию и тактику прогноза, поисков и разведки месторождений, в решении которых приоритетными в теоретическом и практическом плане становятся также идеи и методы геохимии, благодаря также нижеприведенным достижениям [7,20]:

1. Ускоренному становлению инновационных (аналитические, компьютерные и др.) методов, являющихся основой геохимии, привело к ее мощному развитию. Аналитические возможности позволили получить на вооружение огромное количество методов, при анализе и прогнозе. Выработка новых математических и компьютерных технологий дала возможность обработки огромного фонда геохимической информации и возможность перейти от качественного к количественному прогнозу. Отрасль перешла на качественно новый этап – практическое использование инновационных наукоемких технологий

2. Преимуществом геохимического направления состоящего в том, что представляется возможным при его использовании выделять потенциально рудоносные геологические формации и площади, более точно устанавливать границы рудоносных площадей, обнаруживать слепое, погребенное, невидимое и нетрадиционное оружие, повышать эффективность комплексной оценки месторождений и прогнозировать новые источники сырья. Особенно эффективность геохимического направления повысилась при изучении территорий, закрытых чехлом рыхлых мезозой-кайнозойских отложений [9].

3. Тенденцией к постоянному снижению минимальных бортовых промышленных содержаний многих химических элементов, вследствие чего определенные геохимические поля стали представлять интерес как промышленные.

4. Возможностью управления технологическим процессом и повышением его эффективности при комплексном использовании сырья путем геохимического изучения поведения и форм нахождения химических элементов, их полных ассоциаций и изотопов в конкретных месторождениях.

Работы [7,18-21] стоят у истоков геохимического направления и являются приоритетными, внесли существенный вклад в теорию и практику исследований, разработаны научно-теоретические основы, принципы и методы проведения исследований, базирующихся на особенностях геологии Казахстана. Тем более территория страны является уникальным полигоном для проведения исследований в новом направлении – геохимическом прогнозе.

Во-первых, существование благоприятных условий (ландшафтно-геохимических, хорошая обнаженность) на большей части территории Казахстана обусловило широкое (сотни миллионов анализов) применение литохимических съемок. Кроме того, имеются многочисленные геохимические материалы по геологическим и рудным формациям.

Во-вторых, Казахстан характеризуется сложным полициклическим строением, разнообразными по мощности и яркости проявлениями геологических, геохимических и металлогенических процессов на протяжении позднего докембрия и всего фанерозоя.

В связи с этим при обобщении геохимической информации мы стремились к комплексному подходу, а именно учету всего геохимического материала с анализом его на данных по геологическому и металлогеническому развитию региона. При этом в первую очередь использовался колоссальный массив данных литохимических съемок. Сложность строения и полициклическость развития региона обусловили, наряду с применением современных математического аппарата, необходимости анализа геохимической информации с учетом геологического и металлогенического развития территории, так как даже самые современные компьютерные программы при таких условиях не всегда могут отражать геологическую и металлогеническую природу определенного явления.

Типовые ассоциации получены в результате обобщения ассоциаций рудогенных элементов (РЭ), установленных по материалам литохимических и других съемок, а также геохимических данных по геологическим и рудным формациям, выявленных различными методами как сложными (метод многократной корреляции, главных компонент, факторный анализ и т. д.), так и простыми в том числе предложенными нами [7,19]. Впервые комплексно во взаимосвязи и взаимообусловленности удалось обобщить и проанализировать весь имеющийся металлогенический (рудные концентрации) и геохимический (сотни миллионов анализов) материал по всей территории Казахстана на фоне геологического развития с учетом особенности отдельных регионов.

На рисунке 1 иллюстрируется сравнительная характеристика традиционных и авторских понятий, исполь-

зуемых при обобщении и анализе геохимической и металлогенической информации.

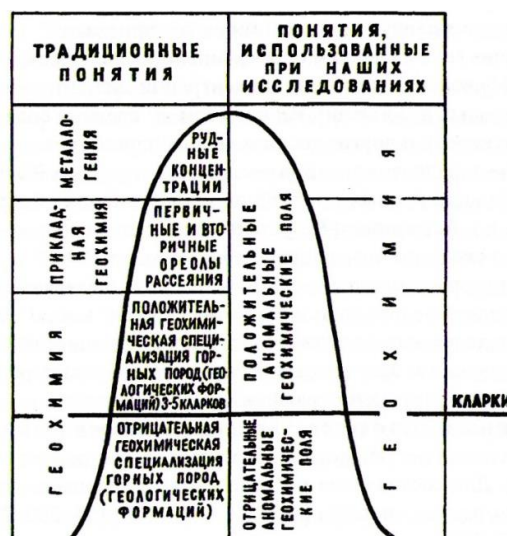


Рисунок 1. Используемая при проведенных исследованиях информация и принятые понятия [21]

Мы при геохимическом анализе и прогнозе комплексно изучаем всю информацию, начиная от предмета изучения традиционной геохимии (от ниже-вышекларковых), прикладной геохимии (первичные и вторичные ореолы рассеяния) и металлогении (рудные концентрации). И всю эту информацию мы называем геохимической. Как известно, геохимия изучает состав, миграцию и концентрацию (в том числе месторождения полезных ископаемых) химических элементов геосферы Земли.

Познание особенностей развития, распространения и геохимических связей выявленных типовых и нетрадиционных для Казахстана ассоциаций рудогенных элементов, определение масштабности этих явлений и площадей развития каждой ассоциации способствовало установлению закономерности развития оруденения во времени и в пространстве, совершенствованию прогноза, в особенности новых, в том числе, нетрадиционных для Казахстана типов месторождений.

Благодаря нашим исследованиям, мы перешли от простой констатации эмпирически устанавливаемых закономерностей образования месторождений к подлинному объяснению их причин, к вскрытию основных законов истории развития Земли.

### 3. Результаты и обсуждение

Проведенные нами исследования показали, что металлогения Казахстана определяется геодинамическими особенностями геотектоники, которая имеет многоярусное линейно-мозаичное строение и состоит из линейных и каркасных геотектоногенов континентального типа, в основании которых находится в той или иной степени нарушенная древняя гранитизированная кора нижнего протерозоя. Нами выяснено [2-7,18-21], что металлогению Казахстана определяют структуры, которым дано название - «геотектоногены» [2], это основные элементы земной коры, отличающиеся от соседних блоков литосферы и образованных под влиянием развития глубинных подвижных зон (ГПЗ), вещественно-структурные геологические системы, уходящих своими корнями в

верхнюю мантию, характеризуются резкой геолого-геохимической активностью и высокой дифференцированностью вещества, главным образом, за счет восходящей миграции вещества (в том числе рудной) из верхней мантии и нижних слоев земной коры.

Аномальные физико-химические, физико-механические и термодинамические сквозные системы и тепло-массопотоки, зародившихся в ранее существовавшей земной коре и верхней мантии и являющихся основным механизмом всех процессов, ведущих сначала к возникновению земной коры, а затем и к преобразованию конкретного участка литосферы в новое состояние: океанический тип преобразуется в промежуточный, промежуточный – в континентальный, орогенный, платформенный, каждый из которых характеризуется своим определенным типом оруденения.

Развитие ГПЗ осуществляется путем смены знакопеременных напряжений «сжатия-растяжения» участков земной коры (ЗК) в силу воздействия на нее внутренних (эндогенных) и внешних (космических) сил. Раздвижение и сдвигание блоков, деформации, магматизм, метаморфизм, седиментогенез – основные процессы, ведущие к преобразованию ЗК и верхней мантии, разрастанию или уменьшению деструкции их слоев и приведению ЗК и мантии в равновесие на определенных этапах развития Земли с общей тенденцией к аккреции. Складчатые и магматические пояса, орогены, зоны глубинных разломов, зоны активизации, геосинклинали и геоантиклинали линейной и других форм – лишь элементы геотектоногенеза, результат проявления отдельных стадий их развития. Металлогенические провинции соответствуют каркасным геотектоногенам, а пояса – линейным. Развитие каркасных и линейных геотектоногенезов, характеризующиеся своими особенностями металлогении, наблюдается и в протерозое, но они в полном виде не сохранились. Многократные деструкции, тектономагматические и метаморфические преобразования пород ЗК привели к тому, что в настоящее время наблюдаются лишь отдельные фрагменты-реликты былых металлогенических провинций и поясов, сохранившие свое строение и комплексы пород.

Ступенчатое развитие ЗК особенно наглядно выражено в активных областях, где оно обусловлено наличием глубинно подвижной зоны, формирующей колонну преобразования (КП) – геолого-физико-химическую и пространственно-временную систему сложного динамизма, объединяющую три объективных начала – вещественный субстрат, структуру внутренних отношений и функциональные связи с внешней средой. Именно в колонне преобразования отдельных глубинных подвижных зон происходили и происходят активные металлогенические процессы и перемещение вещества из верхней мантии в вышележащие слои ЗК – metabазальтовый, метадиоритовый, метагранитный и седиментный. В результате эти слои качественно изменяются, нарастают и имеют свой тип оруденения.

Особую роль в образовании определенных месторождений полезных ископаемых играют цикличность и стадийность геологических процессов, происходящих в колонне преобразования на всех ее уровнях. ЗК под влиянием каждого цикла или стадии развития, изменяясь качественно, становится иной, переходит на следующую ступень развития, которая выражается в появлении ново-

го для данного участка литосферы типа или подтипа ЗК со своим определенным типом месторождений полезных ископаемых. С этих позиций земная кора Казахстана представляется в виде сложного сочетания фрагментарно-мозаичных разновозрастных внутренне многослойных систем каркасных и линейных структур. Таким образом, металлогенические провинции и пояса различаются между собой по структуре, возрасту, проявлению цикличности и стадийности, составу, форме, размерам и другим признакам. Металлогенические провинции и пояса из-за тектонической активности региона, от первичной протобазальтовой оболочки и до современного в состоянии литосферы, в основном полициклически. В связи с пространственным совмещением и наложением более поздних ГПЗ на уже сформировавшиеся металлогенические структуры они становятся полициклическими с выраженной стадийностью отдельных циклов (до трех стадий). Поскольку металлогенические пояса провинций возникли в определенное время на месте ГПЗ, заложенных на разных типах кор, то практически можно считать, что каждому типу кор, на которых заложилась ГПЗ, уходящими своими корнями в мантию, соответствует свои металлогенические особенности.

Ритмика смены во времени напряжений растяжения-сжатия в механизме ГПЗ определяло не только энергетику всех геологических процессов, но миграцию вещества (в том числе рудного) в колонне преобразования, которая для каждого тектономагматического цикла имеет по вертикали трехъярусное строение. Колонна преобразования – это повышенной сквозности, активной дифференциации вещества ЗК и верхней мантии, область интенсивного сложного взаимодействия глубинного тепло-массопотока (изменяющегося на разных уровнях) с разными слоями ЗК, мощного поступления глубинного вещества в верхние слои ЗК и на ее поверхность и, наконец, это область различных по характеру, крупных по масштабам, экстремальных по результатам тектонических процессов. Это запечатлено в конечном итоге в образовании и распределении определенных месторождений полезных ископаемых. Все эти установленные закономерности и определили металлогению Казахстана.

Нахождение Казахстана в сложной геодинамической обстановке обусловило его высокую тектономагматическую активность и, как следствие, высокую геохимическую специализацию геологических формаций, перерастающую в металлогеническую. Широко развиты месторождения Pb, Cu, Mo, Au, Ag, As, Bi, Sb, Fe, Ba, Zn, Sr, Mn, Cr, Ni, Co, V, P, W, Sn, Nb, Ta и др. (приведены по убывающей распространенности).

Металлогенический облик провинций и поясов Казахстана предопределяется изначально сидерофильным (Cr, Fe, Mn, Cu, Pb, Zn, Au и др.) геохимическим профилем верхней мантии и низов земной коры, эволюционировавшим до халькофильного (Cu, Pb, Zn, Au и др.) в земной коре в период существенной палеозойской перестройки региона, с достижением литофильного (W, Mo, Sn, редкоземельные и др.) уровня в отдельных сиалитизированных блоках и зонах.

Общая металлогеническая латеральная зональность Казахстана имеет линейно-мозаичный характер с усилением халькофильных (Cu, Pb, Zn, Au и др.) ассоциаций РЭ в центральной части Восточного Казахстана, сидерофильных (Cr, Fe, Mn и др.) к западу, халькофильных (Cu,

Pb, Zn, Au и др.) к востоку, с возрастанием литофильности (W, Mo, Sn, редкоземельные и др.) с севера на юг. В поясах зональность приобретает продольно-полосчатый характер осевые зоны чаще сидеро-халькофильные (Cr, Fe, Mn, Cu, Pb, Zn, Au и др.), бортовые литофильные (W, Mo, Sn, редкоземельные и др.), а в провинциях – линейно-узловой.

Провинции, пояса и структурно-металлогенические зоны совпадают пространственно с определенными морфологическими формами поверхностей М и К, а также имеют соответствующие типы мощности ЗК и ее слоев.

Закономерность геологических процессов в КП в течение каждого цикла определяет характер и состав месторождений. В ранней металлогенической эпохе оруденение связано с мантийными источниками, в средней - с преобразованием базальтового слоя и в поздней - с коровым диорит-гранитным слоем. Это самая общая схема, поскольку во всех случаях в формировании месторождений участвуют и смешанные источники. Устанавливается эволюционно-унаследованное развитие халькофильных (Cu, Pb, Zn, Au и др.) ассоциаций РЭ во всех циклах и эпохах при преобладании сидеро-халькофильных (Cr, Fe, Mn, Cu, Pb, Zn, Au и др.) ассоциаций в ранние эпохи, халькофильных (Cu, Pb, Zn, Au и др.) в средние и литофильных в поздние. В последующие циклы наблюдается повторяемость ассоциаций (цикличность), усложнение их состава, дифференцированность и сдвиг к литофильности (W, Mo, Sn, редкоземельные и др.), направленность, необратимость.

Наиболее интенсивные концентрации (в виде месторождений, богатых рудных тел и геохимических аномалий) металлов образуются в местах сопряжения, сочленения, пересечения различного ранга тектонических структур. В целом наиболее интересна, в промышленном отношении, концентрации этих металлов наблюдаются в наиболее сложных соотношениях структурно-формационных и рудоконтролирующих зон с кольцевыми и древними региональными структурами широтного (Тянь-Шаньского) меридионального (Уральского направлений). Интенсивность оруденения наиболее четко контролируется поперечными к структурно-формационным зонами.

Нами разработаны научно-теоретические основы, принципы и методы проведения исследований, базирующихся на особенностях геологии Казахстана. Установлены закономерности развития оруденения во времени и в пространстве, существенно дополняющие известные научно-теоретические и практические представления о металлогении Казахстана. На основе выявленных закономерностей выделены зоны, узлы и перспективные площади для известных и нетрадиционных для Казахстана полезных ископаемых. Выяснено, что все месторождения Казахстана многокомпонентны, но эксплуатируются нерационально: добывается обычно не большинство, а один-два полезных компонента. Практически не принимаются во внимание редкие и рассеянные элементы-примеси. В результате теряются полезные компоненты, цены на которые значительно превышают стоимость основных, либо те компоненты, которые являются вредными для окружающей среды. Выделение зон и узлов с повышенным содержанием всех полезных и вредных (токсичных) компонентов, характерных для конкретных рудных формаций, позволяет выявлять новые и нетради-

ционные для Казахстана источники сырья для промышленности и комплексно использовать имеющиеся полезные ископаемые. Зная закономерности концентрации и распространения токсичных элементов, можно прогнозировать пути решения экологических проблем при отработке конкретных месторождений. Высокая эффективность и объективный характер геохимических методов в Казахстане определяют их важнейшее значение не только при поисках в слабо обнаженных районах, но и для выявления скрытых месторождений, которые являются основным резервом восполнения запасов руд в горнопромышленных районах.

На новом уровне – на основе глубокого анализа имеющихся (в особенности новых) материалов с учетом достижений мировой геологии и передовой геохимической технологии проведено геохимическое районирование территории Казахстана 1:1 500 000 масштаба с выделением перспективных площадей, рудоносных районов, зон и узлов [9]. Совпадение или близость выделенных геохимических площадей с металлогеническими наблюдается только в основном контуре и по главным рудным компонентам. На основе геохимических данных, обладающих значительной информативностью, возможностью более глубокого анализа на базе количественных характеристик с набором полных ассоциаций расширены перспективы известных и выделены новые, в том числе нетрадиционные для Казахстана, рудные районы, узлы, площади и типы оруденения, которые не выделяются при металлогенических исследованиях, где могут быть обнаружены слепые, погребенные, невидимые и нетрадиционные месторождения.

Особое внимание также обращалось на изучение резервных территорий, закрытых чехлом рыхлых мезозой-кайнозойских отложений [9]. Эти площади перспективны для выявления россыпных, погребенных, остаточных кор выветривания и других месторождений. Также особое внимание обращалось на нетрадиционные типы месторождений, которые могут представлять дополнительный источник полезных ископаемых. К ним относятся месторождения в докембрии, вулканогенных поясах, корях выветривания, стратиформные, в том числе золоторудные в древних и молодых конгломератах, апкарбонатные (джаспероидные) и штокверковые в гранитных плутонах, стратиформные полиметаллические и редкометалльные объекты, ювенильные алмазы, металлы платиновой группы и др.

*Вулканогенные пояса.* Исследования также показали, что потенциал вулканогенных поясов оценен далеко не полностью. На их территории могут быть обнаружены гиповулканогенные месторождения различных металлов. Например, чингизский сегмент в девонском вулканическом поясе перспективен на богатые золотом и серебром колчеданные полиметаллические руды, северный сегмент в тыловой зоне (Спасская и др.) – на золото-медно-порфировое оруденение, во фронтальной зоне наряду с традиционным медным – на золото-серебряное, западный и восточный сегменты – на медно-порфировое, западный на редкие земли, южный – на жильно-штокверковые комплексные уран-золото-медные и новые медно-порфировые с более богатым золото-медным оруденением. Некоторые мелкие объекты (Таскора, Архарлы и др.) могут перейти в разряд средних при дополнительной разведке флангов и глубоких горизонтов.

Новые месторождения могут быть выявлены при переоценке на золото, медь, свинец, цинк многочисленных гиповулканогенных проявлений и геохимических аномалий (Си, Мо, Рb, Ag, Sb, Ва, Hg, U, Bi). Здесь не исключены и крупные открытия. Основанием для такого прогноза служат наличие в соседних странах гиповулканогенных месторождений с запасами золота 100-200 т (например, Ащи в западной части Китая, Косбулак в Узбекистане), находящихся в структурах, аналогичных по истории развития, возрасту, составу пород и металлогенической специализации Казахстанским вулканическим поясам. Гиповулканогенные месторождения могут оказаться главным золотым резервом недр Казахстана. Здесь надо провести широкомасштабные прогнозные исследования с последующими поисками. Основные перспективные регионы – Северо-Казахстанский, Центрально-Казахстанский, Жонгарский, Шу-Иле-Кендыктас-Заилеский, Северо-Балхашский, Жарма-Саурский. К примеру, перспективными на золото и медь, являются Валерьяновский и Жарма-Саурский пояса. В них имеются проявления медно-порфировых (Бенкара-Валерьяновская), (Кызылкаин, Кенсай-Жармасаурский). Оба пояса слабо изучены, но и по тем предварительным данным, которые получены, нами можно утверждать, что они не менее перспективны, чем более изученные их Центрально-Казахстанские аналоги.

Наши исследования показывают, что девонский вулканический пояс в северном сегменте перспективен на медное оруденение, где в тыловой зоне сосредоточены золото-медно-порфировые месторождения (Нурказган, Сатпаевское, Коктасжалское), а во фронтальной (Спасская зона) на вулканогенные месторождения типа Эль-Кобре (Кажыкойган) и «манто» (Алтынтобе). В западном и восточном сегментах отмечаются перспективы на медно-порфировые объекты, связанных либо с фронтальной (типа Караомак, Восток-I-IV и др.), либо тыловой (типа Сарышаган) зонами пояса. В западном - также намечаются определенные перспективы на редкие земли. В южном сегменте предполагается нахождение жильно-штокверковых комплексных уран-золото-медных и новых медно-порфировых проявлений с более богатым золотомедным оруденением. Чингизский сегмент перспективен на богатые золотом и серебром колчеданные полиметаллические руды (космурын-абызский тип). Спасский, представляет интерес, кроме традиционного медного оруденения, на золотосеребряное в ассоциации с медью, свинцом и цинком. Западный – на редкие земли.

*Стратиформное оруденение.* Прогнозируется и нетрадиционное для Казахстана стратиформное оруденение. Работы по поискам нетрадиционного стратиформного мансфельдского типа месторождений платиноидов в Казахстане пока фрагментарны. В то же время получены материалы (шлихи, аномальные содержания в отдельных пробах), обнадеживающие для поиска месторождений этого типа. Наличие на ряде стратиграфических уровней углеродистых горизонтов с благоприятной геохимической специализацией позволяет считать территорию Казахстана потенциально перспективной для практически ценных скоплений платиноидов стратиформного типа. Первоочередными для проведения прогнозных и поисковых работ следует считать черносланцевые и угольные горизонты офиолитовых поясов, та-

ких, как Западно-Мугалжарский, Денисовский, Ерейментауский, повышенно углеродистые фации терригенно-сланцевых отложений, прилегающих к Чарскому поясу, Жалаир-Найманской зоны. Обнаружение месторождений стратиформной оловянной минерализации возможно в Кокшетауском срединном массиве, Шуском и Улытауском поднятиях, являющегося аналогом месторождений Чешского срединного массива и Бразилии. Большой интерес также представляют стратиформно-метаморфогенные шеелитовые месторождения. По полученным данным стратиформная вольфрамовая минерализация может быть проявлена в докембрии, кембрии, ордовике и девона. Первоочередным следует считать докембрийский уровень Кокшетауского, Мугалжарского, Улутауского массивов. Некоторые регионы Казахстана (Торгай, Каратау и др.) по развитию ГП стратиграфическим разрезам и интенсивным проявлением интрузивного и эффузивного магматизма основного и среднего состава в тектонически активных зонах похожи на районы развития стратиформных золотых месторождений в США.

*Коры выветривания.* В последние годы при оценке перспектив расширения и укрепления минерально-сырьевой базы все больше внимания уделяется формациям коры выветривания, которые часто представлены крупными (золото, полиметаллы) и уникальными (редкие земли) и другими месторождениями. Две трети площади территории Казахстана перекрыто чехлом – остаточными (коры выветривания) и осадочными геологическими формациями мезозоя и кайнозоя, с которыми связаны различные полезные ископаемые, на которые ранее уделялось недостаточное внимание. Наши исследования показывают эти площади перспективны для выявления россыпных, погребенных и других месторождений и остаточных кор выветривания разных полезных ископаемых. Соответственно требуется разработка принципиально новых технологий и методов прогнозирования и поиска скрытых месторождений. Коры выветривания установлены во многих районах: Урал, Северный, Центральный, Восточный Казахстан. Среди них выявлены рудоносные коры выветривания, которые, как правило, развиваются по первичным рудам золота, цветных и благородных металлов, марганца, редких металлов, олова и др. К примеру, проявления нового слабоизученного нетрадиционного типа платиноидов в корах выветривания по гипербазитам нами установлено в Западном (Кемпирсайский массив) и Восточном (Суровской) Казахстане. Это свидетельствует о перспективах платиноносности кор выветривания по ультрабазитам в гипербазитовых поясах Казахстана.

Отмечаются несколько комплексных боксито-золоторудных районов на Урале (Балкымбайский, Житыгаринский), Торгае (Валерьяновский), где процессы латеритного коро- и бокситообразования проходили на золотоносном субстрате и это сближает их с золотоносными бокситами Австралии. Намечаются перспективы золота в корах выветривания в Семипалатинском Прииртышье (типа Суздальское, Жерык, Жаман, Мираж), Житыгаринском районе (типа Элеваторный, Акшинское). ГП связанные с автохтонными и аллохтоновыми корах выветривания мезозойско-кайнозойского чехла, которые развиваются по фамен-нижекарбонным терригенно-карбонатным формациям указывают на свинцово-

цинковое оруденение. Проведенные исследования позволили генетически увязать довольно известный в Каратау ащисайский тип свинцово-цинкового оруденения с процессами мезозойского корообразования и установить его идентичность с металлоносными корами выветривания в Торгае (месторождения Шаймерден). Месторождения ащисай-шаймерденовского типа предполагаются в нескольких депрессионных структурах Восточного Торгая (Аркалыкской, Каиндинской, Керегешинской и др.) и западной части Сарысу-Тениза. Наибольшее внимание привлекают самородно-окисно-гидрокарбонатные и вторично-сульфидные руды свинца и меди в контактово-карстовых корях выветривания, имеющих большое площадное развитие. В связи с вышеизложенным исключительно актуальны прогнозные исследования по оценке территории Казахстана на выявление рудоносных кор выветривания и увеличение за их счет запасов золота, цветных, благородных, редких и других металлов.

Как видно из вышеизложенного, Сатпаевская прогнозно-металлогеническая школа на основе инновационных научно-технологических разработок и привлечения передовых технологий зарубежных стран, при активной поддержке государства внесли и внесут достойный вклад в укрепление минерально-сырьевого комплекса и индустриально-инновационного развития республики.

#### **4. Выводы**

Прошедшие апробацию в престижных международных форумах и практических сферах, наши работы пользуются большим спросом у казахстанских и зарубежных недропользователей.

Результаты этих работ, показавшие большие перспективы Казахстана в деле обнаружения полезных ископаемых, а также проблемы, задачи и стратегия развития минерально-сырьевых ресурсов представлялись Главе государства и правительству Казахстана. После наших докладов большая часть инвестиций и недропользователей в Казахстан пришли на месторождения, подготовленные к разработке. Сейчас наступил тот момент, когда государству необходимо активизировать поисково-разведочные работы с созданием новых структур. Вопросы регионального геологического изучения и восполнения запасов полезных ископаемых должны финансироваться государством, которое является основным собственником и потребителем стратегически важной информации о недрах и их потенциале.

На выделенных нами перспективных районах, узлах и площадях нужно провести крупномасштабные комплексные прогнозные и поисково-разведочные работы 2-этапа, с учетом установленных закономерностей и при этом, особое внимание надо обратить, на рудоносность докембрия, вулканогенных поясов, кор выветривания и на стратиформное оруденение. Наш многолетний опыт, знание сути и неоднократное эффективное решение за многие годы возникающих вопросов, проблем открытия и восполнения запасов полезных ископаемых и потенциальных возможностей каждой организации, и индивидуально каждого сотрудника, позволяет нам организовать их эффективное взаимодействие.

Как видно из вышеизложенного, проведение прогнозно-металлогенических исследований (региональных, специальных и локальных) с анализом имеющихся и

новых материалов на основе новейших научных представлений и технологий, позволит установить новые закономерности развития месторождений во времени и в пространстве, с выделением новых, в том числе нетрадиционных для Казахстана рудоносных площадей для обнаружения конкурентоспособных месторождений.

Для эффективного и плодотворного проведения прогнозно-металлогенических и вообще геологоразведочных работ нужно решать следующие проблемы и задачи [21]:

- государственной поддержки в том числе в виде государственного заказа, а также поддержки в виде субсидий. Это практикуется во всех развитых странах. Нужно обратить внимание, что государственная финансовая поддержка должна оказываться и долгосрочным программам фундаментальных исследований, и не требовать от нее как стало сейчас модно сиюминутной прибыльной отдачи, что создаст благоприятные условия для эффективного проведения геологоразведочных работ и открытия месторождений и в дальнейшем для привлечения частных инвестиций и внедрения инноваций;

- создание системы экономических стимулов, способных обеспечить заинтересованное и широкое участие интеллектуального потенциала страны в разработке новейших и перспективных исследований;

- привлечения внебюджетных средств, в том числе банковского капитала, средств малого и среднего бизнеса в наукоемкие отрасли. В процессе коммерциализации инновационных технологий долю расходов постепенно должен взять на себя частный сектор;

- концентрация всего имеющегося интеллектуально-научно-технического, производственного, финансово-экономического потенциалов геологии путем междисциплинарного взаимодействия с целью максимальной отдачи разработок при эффективном развитии цепочки: научный маркетинг – исследования – научные и прикладные разработки – опытно-экспериментальная апробация – внедрение в производство;

- развития рынка интеллектуальной собственности;
- состояния и уровня развития международного сотрудничества в научно-технической сфере, которое находится в настоящее время на низком уровне опять-таки из-за низкого финансирования науки, что ставит казахстанскую науку в условия изоляции от научного мирового сообщества, что никак не может способствовать успешному развитию науки вообще, а геологической, в частности;

- объединение технических средств и кадрового потенциала с выработкой и развитием современных аналитико-экспериментальных и опытных подразделений с целью доведения научных разработок до продукта, отвечающего требованиям международных стандартов и востребованного потребителем на внутреннем и внешнем рынках;

- внедрение новых наукоемких технологий прогноза, поисков и разведки полезных ископаемых, т. е. переход отрасли на качественно новый этап – практическое использование инновационных наукоемких технологий (геохимических, геофизических, космических, построение объемных компьютерных стереомоделей эталонных объектов промышленной значимости приоритетных видов полезных ископаемых и т. д.), выработка новых математических и компьютерных технологий обработки огромного фонда геологической информации для повы-



шения результативности прогноза месторождений полезных ископаемых;

- ускоренное проведение пересчета запасов и экономических оценок всех известных, стоящих на балансе месторождений с учетом современных общемировых кондиций;

- компьютеризация аналитико-интерпретационных процессов с применением и развитием ГИС-технологий, переходом к методам экспертных систем, применение новейших приборов и оборудования для анализа геологического вещества, развитие современного информационного обеспечения составления базы и банков данных, компьютерных моделей и карт геологических объектов различных регионов Казахстана с системным анализом и обработкой первичной и вторичной информации;

- разработка и внедрение в геологию современного менеджмента;

- оснащение аналитических подразделений современным прецизионным оборудованием для анализа редких, цветных и благородных металлов, в т. ч. элементов платиновой группы методиками выполнения измерений I-III категорий точности в соответствии с требованиями Правительства.

## Литература / References

- [1] Satpaev, K.I. (1967, 1968). *Izbrannye Trudy* (V.1, i2). *Alma-Ata: Nauka*
- [2] Shherba, G.N. (1970). *Geotektonogeny i rudnye pojasa. Alma-Ata: Nauka*
- [3] Esenov, Sh.E., Shherba, G.N. (1967). *Geologija i metallogenija Uspenskoj tektonicheskoj zony* (V.1-6). *Alma-Ata: Nauka*
- [4] Shherba, G.N. (1980). *Chu-Iljiskij rudnyj pojas* (V.1-7). *Alma-Ata: Nauka*
- [5] Shherba, G.N. (1983). *Metallogenicheskie provincii i pojasa Kazahstana. Alma-Ata: Nauka*
- [6] Shherba, G.N. (1988). *Redkometall'noe orudnenie Kazahstana. Alma-Ata: Nauka*
- [7] Rakishev, B.M. (2006). *Geohimicheskaja specializacija i rajonirovanie metallogenicheskikh provincij i pojasaov Kazahstana. Almaty: Gylım*
- [8] *Mineragenicheskaja karta Kazahstan masshtaba 1:1 000 000. Pojasnitel'naja zapiska k «Mineragenicheskoi karte Kazahstana»*. (2009). *Almaty*
- [9] *Karta mezozoj-kajnozoja Kazahstana masshtaba 1:1 000 000. Pojasnitel'naja zapiska k «Karte mezozoj-kajnozoja Kazahstana»*. (2011). *Almaty*
- [10] Baibatsha, A.B., Muszynski, A. (2020). Geological-geophysical prospecting indicators of the arganaty district predictive blocks (Eastern Balkhash). *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, 2(440), 31–39
- [11] Baibatsha, A., Arshamov, Y., Bekbotayeva, A. & Baratov, R. (2017). Geology of the main industrial types of copper ore deposits in Kazakhstan. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*, 17(11), 231–238
- [12] Baibatsha, A.B., Bekbotayeva, A.A. & Mamanov, E. (2015). Detection of deep ore-controlling structure using remote sensing. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*, 113–118
- [13] Baibatsha, A.B. (2014). Paleovalleys mapping using remote sensing. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS Archives)*, 40(5), 83–86
- [14] Baibatsha, A., Dussembayeva, K., Bekbotayeva, A. & Abdullayeva, M. (2018). Tails of enrichment factories as the technogenic mineral resources. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management*, 18(1.1), 519–526
- [15] Vernadskij, V.I. (1954-1960). *Izbrannye sochineniya* (V.1-5). *Moscow*
- [16] Fersman, A.E. (1952-1962). *Izbrannye Trudy* (V.1-7). *Moscow*
- [17] Rakishev, B.M. (2011). Raw material base of non-ferrous, rare and rare earthing metals of Kazakhstan. *Non-ferrous metals*, (1), 17-21
- [18] Rakishev, B.M. (2015). Rol' mineral'no-syr'evykh resursov v razvitii stran SNG. *Mezhdunarodnaja nauchnaja konferencija «Razvitie nauk o zemle v Kyrgyzstane: sostojanie, problemy i perspektivy»*, Bishkek
- [19] Rakishev, B.M. (2016). Rol' i perspektivy mineral'no-syr'evykh resursov v razvitii jekonomiki Kazahstana. *Izvestiya NAN RK, Serija geologii i tehnicheskikh nauk*, (2), 29-39
- [20] Rakishev, B.M. (2022). Geohimicheskoe napravlenie v metallogenii. *Geologija i ohrana neдр*, 1(12), 26-30
- [21] Rakishev, B.M. (2022). Satpaevskaja metallogenicheskaja shkola v ukreplenii mineral'no-syr'evoj bazy Kazahstana. *Satbayev Conference: Trends in modern scientific research*, V.1, 3-17

## Қазақстанның металлогенезі және оның пайдалы қазбалар кен орындарын болжау үшін маңызы туралы

Б.М. Ракишев\*

*Satbayev University, Алматы, Қазақстан*

\*Корреспонденция үшін автор: [bolat\\_rakishev@mail.ru](mailto:bolat_rakishev@mail.ru)

**Аңдатпа.** Қазақстанның металлогениясы жер қыртысының сатылы дамуы және геотектоногендер концепциясы тұрғысынан қарастырылады. Бұрын тиісті көңіл бөлінбеген металлогения және пайдалы қазбалар болжамы туралы белгілі ғылыми-теориялық идеяларды айтарлықтай толықтыратын жаңа заңдылықтар мысалдарды белгіленген. Қазіргі уақытта пайдалы қазбалардың көптеген басым түрлері бойынша, әсіресе қалақұраушылар, қазірдің өзінде өткір

тапшылықты сезінуде. Сондықтан пайдалы қазбалар қорын толықтыру – ел үшін аса өзекті және маңызды мәселе. Мәселені шешуде негізін Қ.И. Сәтбаев қалаған Қазақстан металлогениялық мектебінің болжамдық-металлогендік бағыты маңызды рөл атқарады. Пайдалы қазбалардың, әсіресе бейдәстүрлі кенорындарының қалыптасуының мен таралуының жаңа заңдылықтары сипатталған. Анықталған перспективалы аудандарда, тораптарда және алаңдарда кең ауқымды кешенді болжау және іздеу-барлау жұмыстарын жүргізу ұсынылады. Анықталған заңдылықтарды ескере отырып, прекембрийдің, вулканогендік белдеулердің, мору қыртысының рудалылығына және стратиформдық минералдануға ерекше назар аударылады. Соңғы ғылыми идеялар негізінде қолда бар және жаңа материалдарды талдай отырып, аймақтық, арнайы және жергілікті болжамдық металлогениялық зерттеулердің рөлі көрсетілген. Озық технологияларды пайдалану кенорындарды игерудің уақыт пен кеңістікте жаңа үлгілерін белгілеуге, Қазақстан үшін жаңа, оның ішінде бейдәстүрлі кенді аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді.

**Негізгі сөздер:** металлогения, геохимия, пайдалы қазбалар, минерал-шикізат ресурстары, кенорындар, болжамдық-металлогениялық зерттеулер.

## **О металлогении Казахстана и ее значение для прогноза месторождений полезных ископаемых**

Б.М. Ракишев\*

*Satbayev University, Алматы, Казахстан*

\*Автор для корреспонденции: [bolat\\_rakishev@mail.ru](mailto:bolat_rakishev@mail.ru)

**Аннотация.** Рассмотрена металлогения Казахстана с позиции концепции ступенчатого развития земной коры и геотектоногенов. На примерах установлены новые закономерности, существенно дополняющие известные научно-теоретические представления о металлогении и прогноза полезных ископаемых, на которые ранее не обращалось должного внимания. В настоящее время по многим приоритетным видам полезных ископаемых, особенно, которые являются градообразующими, уже наблюдается острый дефицит. Поэтому восполнение запасов полезных ископаемых исключительно актуальная и важная задача для страны. В решении проблемы большую роль играет прогнозно-металлогеническое направление металлогенической школы Казахстана, основателем которой является К.И. Сатпаев. Нами описаны новые закономерности образования и размещения месторождений полезных ископаемых, в особенности нетрадиционных. В выделенных перспективных районах, узлах и площадях предлагаются крупномасштабные комплексные прогнозные и поисково-разведочные работы. С учетом установленных закономерностей особое внимание обращено на рудоносность докембрия, вулканогенных поясов, кор выветривания и на стратиформное оруденение. Показана роль прогнозно-металлогенических исследований региональных, специальных и локальных, с анализом имеющихся и новых материалов на основе новейших научных представлений. Применение передовых технологий позволит установить новые закономерности развития месторождений во времени и в пространстве, выделить новые, в том числе нетрадиционные для Казахстана рудоносные площади.

**Ключевые слова:** металлогения, геохимия, полезные ископаемые, минерально-сырьевые ресурсы, месторождения, прогнозно-металлогенические исследования.

<https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i4.05>

## A method for assessing the reliability of the planned consumer quality of ores with considering the calculated accuracy of their average content

A. Kurmankozhaev\*

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

\*Corresponding author: [kurmankozhaev\\_a@mail.ru](mailto:kurmankozhaev_a@mail.ru)

**Abstract.** The method consists in ensuring the reliability of the planned consumer quality of ores by using non-parametric properties of the variation of unevenness, variability and uncertainty of contents, which predetermine the weighted average value of the average, according to which qualimetrically averaged aggregate and frequency integrity of contents is reproduced. The method is based on the concept of reproducing qualimetrically averaged sets of contents, zonal based on the nature of their distribution and the uniformity of their values, using the qualimetric geoindicator property of the modal concentration of ores. The fundamental difference of the method is in achieving the reliability of the planned average grade - "by areas of qualimetrically averaged grades" instead of the traditional one - "by grouped point samples", in which stabilization of the quality of ores is achieved before mining. Based on the results of qualimetric averaging of grades, qualimetric maps are compiled containing geological zones of high-quality and ordinary ores, and ores with modal grades, and consumer quality calculation blocks. In-situ-experimentally confirmed the feasibility of the minimum limits of deviations of the contents of the initial production coming to the processing and processing processes from the planned ones for the extraction sites, achieved when extracting the reserves of the reproduced sites of ordinary, high-quality, high-quality and near-edge ores. Geological and geometric bases are being created for the modernization of the processes of exploration, calculation, preparation and excavation of reserves, the costs of technical averaging are reduced, and losses of metals in mining waste and processing tailings are eliminated.

**Keywords:** method, quality, qualimetric averaging, deviation, content, stabilization, change, loss, natural experiment.

### 1. Введение

Широкораспространенные на практике способы среднеарифметического и средневзвешенного определения среднего содержания металла подтверждены более точными и приемлемыми для условия различных месторождениях полезных ископаемых. Однако по настоящее время допускаемые при этом систематические отклонения текущих средних содержаний добытой руды исходной для обогатительно-перерабатывающих процессов от планируемых по выемочным единицам, блокам, рудному телу остаются весьма значительными.

Утверждение о неизбежности этого проблемного факторного положения стало традиционно прижитым в силу отнесения их последствий к природным геологическим погрешностям, которые возникают в связи с неоднородностью рудного массива и стохастичностью статистического поля содержаний полезного ископаемого. Существующие подходы и методы совершенствования формул расчетов ожидаемой точности среднего содержания, фактически не влияют на положительные результаты. Независимо от уровня расчетной точности, отклонения содержаний исходной добычи для обогащения от планируемого по эксплуатационному блоку остаются как правило значительными.

На сегодня для решения проблемы стабилизации качества единственным ставшей традиционными остаются внутризайонные, внутрискладные и прирудничные способы усреднения качества руд после добычи, с приме-

нием технических средств и оборудования, с допущением огромных затрат и потерь руд. В связи с чем, проблема устранения вынужденных затрат на усреднение после добычи, потерь металлов в добытых рудах и хвостах обогатительно-перерабатывающих процессов представляется приоритетным направлением в области освоения рудных ископаемых.

### 2. Методы и материалы

#### 2.1. Сущность метода

В основу рекомендуемого метода положена концепция использования воспроизведенных зон «обновленного» геолого-качественного состояния запаса для подсчета среднего содержания, основанной на обратный подход к традиционному прямому, при котором используются сгруппированные точечные пробы содержаний в пределах планируемого выемочного блока. Сущность концепции заключается в воспроизведении квалиметрически осредненных совокупностей содержаний, зонально базированных по характеру распространения и однородности их значений с применением квалиметрического геологического свойства модальной характеристики рудного ископаемого. Реализация концепции состоит в создании зонированных на уровне наименьших пределов неравномерности и случайной изменчивости содержаний, неоднородности и неопределенности концентрации полезного компонента, подсчетных участков, при которых обеспечиваются достоверность потребительского качества руд-

ных продукций. Подтверждено, что закономерность появления зонированных по характеру распространения и однородности содержаний, упорядоченных на уровне наименьших пределов статистической изменчивости, неравномерности колебаний и неопределенности распространения полезного компонента в пределах поле запаса залежи при его расчленении с применением квалиметрических модальных геоиндикаторов носить геологогенетический характер [1]. В патенте [1] изложена теория воспроизводимости однородных по концентрации, изменчивости и равномерности распространения переменных при квалиметрическом расчленении неоднородной среды с применением модальных геоиндикаторов. Выявлены скрытые геоиндикаторные частотностные и количественные квалиметрические свойства модальной величины переменного и зоны ее концентрации, влияющие на характер распространения и однородности концентрации переменных. Приведено, что в процессе квалиметрического расчленения геологического запаса посредством модальных геоиндикаторов происходит структурная дифференциация статистического поля содержаний металла на зонально выделяемые по уровням абсолютных значений, однородности, концентрации, изменчивости и равномерности их размещения, упорядоченные геолого-геометрические зоны в пределах залежи.

Метод заключается в использовании квалиметрических геоиндикаторных критериев планируемого выхода потребительского качества руд по выемочному участку, основанных на непараметрические свойства вариации исходных величин, характеризующих средневзвешенного значения содержания, по которым осуществляются параметризация воспроизведенных совокупностных и частотностных целостностей, координированных по квалиметрически осредненным зонам содержаний. Выявлены скрытые геоиндикаторные частотностные и количественные квалиметрические свойства модальной величины геопеременного и зоны ее концентрации, влияющие на характер распространения и однородности концентрации переменных. Зона влияния модальной величины определена как совокупностная и частотностная целостность носящей генетической геоиндикаторной информации с наибольшей квалиметрической мощностью, для которой свойственны нормальность распределения, наименьшие колебания и неопределенности, наибольшие пределы концентрации и достоверности переменных. Принципиальное отличие метода состоит в воссоздании эффективности условия достижения достоверности планируемого значения среднего содержания - «по зональным участкам квалиметрически осредненных содержаний» взамен от традиционной - «по сгруппированным-точечным пробам», при котором достигаются геолого-эксплуатационная стабилизация качества руд до добычи. На базе их устраняются затраты на техническое усреднение после добычи, и потерь металлов в отходах руд и хвостах обогатительно-перерабатывающих процессов. По результатам анализа процесса квалиметрического расчленения неоднородной среды с применением модальных геоиндикаторов, установлено ранее неизвестная закономерность воспроизводимости устойчивых по совокупностной, частотностной и пространственной целостности в виде выделяемых отдельных инвариантных зон. Выявлено, что в их контурах изменчивость, неопределенность и неравномерность распространения переменных стаби-

лизируются на уровне предельных природных минимумов. Приведены результаты натурно-экспериментального подтверждения выявленной закономерности в условиях железорудного и хромитового месторождений с привлечением фактических данных. Подтверждена закономерность в том, что при квалиметрическом расчленении их запасов устраняются неоднородность, стохастические случайные колебания и неопределенность концентрации содержаний металла. При этом как последствия, повышаются достоверность параметров, точность и стабильность потребительского качества.

## 2.2. Содержание метода

Достоверность расчетного значения точности потребительского качества руд по эксплуатационному участку оценена путем определения среднего содержания с привлечением средневзвешенной оценки с учетом непараметрических свойств эмпирических частот содержаний, по формуле

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i l_i}{n_f} \quad (1)$$

где  $f_i$  – значение  $i$  – ой частоты  $i$  – го содержания, дол.ед;  $n_f$  – сумма частот содержаний по участку, дол.ед.

Точность среднего содержания по формуле (1) проведена путем представления ее как функция равной произведению средних значений ( $\bar{C}$ ) и их частот ( $\bar{f}$ ) с учетом геометрической неопределенности границ осреднения ( $V_s$ ) с привлечением среднеквадратической ошибки этой функции в виде [2,3].

$$M_u = \pm \sqrt{\left(\frac{du}{df}\right)^2 m_f^2 + \left(\frac{du}{dc}\right)^2 m_c^2} \quad (2)$$

Для подсчета частотных произведений использовано выражение

$$\bar{f} \cdot \bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_i \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i = \frac{1}{n^2} (f_1 C_1 + f_1 C_1 + \dots + f_n C_n + f_2 C_1 + \dots + f_n C_n) \quad (3)$$

Дифференцируя по переменным этого выражения и при дальнейшем преобразовании получим полный дифференциал функции  $u = \bar{f} \cdot \bar{C}$ , в виде

$$du = \frac{1}{n^2} [\sum C_i df_1 + \sum C_i df_2 + \dots + \sum C_i df_n + \sum f_i dC_1 + \dots + \sum f_i dC_n] \quad (4)$$

Полагая  $d_u = M_u$ ;  $df_1 = df_2 = \dots = \sigma_f$ ;  $dC_i = \sigma_c$  и переходя к среднеквадратическим случайным ошибкам, формула среднеквадратической случайной ошибки функции  $u = \bar{f} \cdot \bar{C} (\sum C_i + n \cdot \bar{C}, \sum f_i = n \bar{f})$  получена в виде

$$\begin{cases} M_u = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{C^2 \sigma_f^2 + f^2 \sigma_c^2} \\ M_{u'} = \frac{s}{\sqrt{n}} \sqrt{C^2 \sigma_f^2 + f^2 \sigma_c^2} \end{cases} \quad (4)$$

Формула общей ошибки определения среднего значения содержания получена с учетом закономерной ее составляющей, выраженной через ковариации связи

содержаний и их частот в виде

$$z_{f,c} = 2\bar{C} \cdot \bar{f} \sum (f_i - \bar{f})(C_i - \bar{C})$$

$$M_{u'} = \frac{S}{\sqrt{n}} \sqrt{C^2 \sigma_f^2 + f^2 \sigma_c^2 + 2\bar{C} \cdot \bar{f} \sum (f_i - \bar{f})(C_i - \bar{C})} \quad (5)$$

Подсчет среднего содержания включает ошибку округивания контура осреднения содержаний, возникающей за счет неопределенности его геометрических границ. Оценка этой ошибки выражена в относительной мере как

$$V_s = \frac{\sigma_s}{S'}, \text{ где } S' - \text{ площадь осреднения содержаний.}$$

Следовательно, формулу (5) можно представить окончательно в виде

$$M_{u'} = 100 \sqrt{\frac{1}{n} \left[ V_f^2 + V_s^2 + \frac{2}{\bar{f}\bar{C}} \sum (f_i - \bar{f})(C_i - \bar{C}) \right] + V_s^2} \quad (6)$$

Здесь  $V_f$ ,  $V_c$ ,  $V_s$  – относительные изменчивости частот ( $f$ ), содержания ( $c$ ) и площади ( $S$ ) осреднения содержаний, %; Выражение  $V_f^2 + V_s^2 + V_c^2$  – отражает степени влияния случайных составляющих изменчивости этих переменных ( $f$ ,  $c$ ,  $s$ ). Из оценки (6) вытекает, что точность определения среднего содержания зависит прямо пропорционально от вариации абсолютных значений содержаний ( $V_c$ ) и неравномерности их частот ( $V_f$ ), геометрической неопределенности контура осреднения содержаний ( $V_s$ ) и обратнопропорционально количества проб ( $n$ ).

Следует вывод, что величины вариации содержаний и их частот, и геометрической границы осреднения содержания являются основными показателями предопределяющих достоверности планируемого качества руд и мало зависит от традиционной расчетной оценки точности среднего их значения.

Показатель вариации абсолютных значений содержаний ( $V_c$ ) определяется через их отклонения от модальной величины, по оценке

$$V_c = \frac{\sigma_c}{C_{mo}} \quad (7)$$

где  $\sigma_c$  – среднеквадратическое отклонение содержаний ( $\sigma_c = \sqrt{\sum_1^n (C_i - C_{mo})^2}$ );  $C_{mo}$  – модальное значение содержаний, %.

Показатель вариации неравномерности как основная характеристика стабильности размещения содержаний оценивается через среднеквадратического отклонения эмпирических частот распределения в долях их средней величины, по аналитической оценке

$$V_H = \frac{\sigma_f}{f_{cp}} = \left( \frac{N}{S} \right) \sigma_f \quad (8)$$

где  $\bar{f}_{cp}$ ,  $f_{mo}$  – среднее и модальной значения частот, дол.ед.;  $f_i$  – значение частот по  $i$  – ому классовому интервалу, дол.ед.;  $N$  – общее число частот по изучаемой площади участка ( $S$ ), дол.ед.;

Геометрическая неопределенность границ осреднения содержаний выражается в виде  $V_s = \frac{\sigma_s}{S}$ , где  $S$  – площадь

рудного контура по выемочному участку (блоку). Оценка  $\sigma_s$  представляет величину отражающей степени извилистости фактического контура руд по выемочному участку, в основном выражаемой через среднее значения их уклонений ( $t_{cp}$ ). Показатель геометрической неопределенности границ осреднения содержаний с учетом зависимости между длинами геологической ( $P$ ) и нулевой ( $P_0$ ) поверхностей руд ( $P = P_0 e^{k\Delta t}$ ), имеет вид [4].

$$V_s = \frac{\sigma_s}{s} = \frac{1.25(P - P_0)}{s} = \frac{1.25P_0}{s} (e^{k\Delta t} - 1) \quad (9)$$

При дальнейшем преобразовании получим

$$\left\{ \begin{array}{l} V_s = \frac{\sigma_s}{P_0} (e^{k\Delta t} - 1) \\ \text{или} \\ V_s = 2.5 \sqrt{\frac{\pi}{s}} (e^{k\Delta t} - 1) \end{array} \right. \quad (10)$$

Оценка  $\sigma_s$  представляет величину отражающей степени отклонений фактического контура руд по выемочному участку от технологической поверхности отработки, выражаемой через среднее значений этих отклонений ( $\bar{t}_{cp}$ ). Здесь использованы формулы параметров многоугольника как фактической формы контактной окружности также правильного нулевого контура рудной поверхности с учетом их связи.

С учетом теоремы сложности ( $V_{об} = V_c + V_H + V_s$ ) и величины вариации содержаний по зоне концентрации модальной величины ( $V_{mo}$ ) (как более однородной), формула общей относительной оценки однородности  $i$  – го геологического участка получена в виде

$$\bar{V}'_{об} = \frac{100}{V_{mo}} (V_c + V_H + V_s) \quad (11)$$

Результаты анализа (6)-(11) позволяют сделать аналитический выбор и вывод, что показатели средних значений вариации абсолютного среднеквадратического отклонения ( $V_c$ ), неравномерности колебаний ( $V_{Hp}$ ) и неопределенности границ осреднения ( $V_s$ ) содержаний являются основными характеристиками, определяющих достоверности планируемого потребительского качества рудных продукций и связи его с расчетной точностью среднего значения по выемочному участку.

Процесс воспроизводства геологических зон квалитметрических осредненных содержаний для подсчета достоверного значения потребительского качества руд включают этапы, на которые:

- воспроизводят совокупностные и частотностные зонально геометризованные целостности инвариантных по характеру распространения и однородности содержаний в поле запаса [1];
- определяют геоиндикаторные критерии квалитметрического осреднения содержаний с применением непараметрических свойств исходных величин, предопреде-

ляющих достоверности планируемого качества руд по выемочному участку;

- выполняют квалитметрическое осреднение содержаний на базе воспроизведенных совокупностных и частотностных целостностей, координированных по выделяемым эксплуатационным участкам с применением квалитметрических геоиндикаторных критериев;
- составляют квалитметрические карты по воспроизведенным геолого-эксплуатационным участкам, содержащие районированные геологические зоны качественных и рядовых руд, и руд с модальными содержаниями, а также часть рядовых руд, превышающих приконтурных и не превосходящих технические условия.

### 3. Результаты и обсуждение

*Натурно-экспериментальные результаты.* Натурно-экспериментальная оценка последствий достоверности потребительского качества рудной продукции проведена на базе результатов определения средневзвешенного среднего значения по традиционному способу с прямым привлечением точечных проб, сгруппированных исходя

из планируемых качественных показателей и проектных размеров очистной выемки и рекомендуемому способу по зонам квалитметрически осредненных содержаний полезного компонента. Сводные натурно-экспериментальные результаты оценки достоверности качества рудной продукции через показатели изменчивости, стабильности и точности содержаний по фактическим данным разведки и эксплуатации Геофизического хромитового и Лисаковского железорудного месторождений сведены в таблицы 1 и 2. Квалитметрическое расчленение извлекаемого запаса хромовых руд по месторождению «Геофизическое» проведено по подсчитанным граничным значениям зоны влияния модальной величины ( $C_{м.з} = C_{m0} - 0.67\sigma = 49.00 - 0.67 \cdot 5.2 = 45.52\%$ ;  $C_{б.з} = C_{m0} + 0.67\sigma = 49.00 + 0.67 \cdot 7.3 = 52.48\%$ ) и посредством изоморфных кривых проведенных по их значениям в поле запаса залежи. Всего районированы три геологические зоны высококачественных богатых ( $C_i > 52\%$ ), модосредоточенных качественных ( $52\% > C_i > 46\%$ ) и рядовых смешанных нижекачественных ( $C_i < 46\%$ ) руд (таблица 1).

**Таблица 1. Сводные результаты оценки стабильности распространения содержаний через величин вариации неравномерности колебаний ( $V_{нр}$ ), абсолютных отклонений ( $V_c$ ), неоднородности ( $V_{нд}$ ) их значений, статистической изменчивости (дисперсии, амплитудного размаха) и среднего значения полезного компонента в условиях эксплуатации Геофизического хромитового месторождения**

Геоиндикаторные квалитметрические признаки, %	Показатели стабильности распространения содержаний $Cr_2O_3$			Показатели изменчивости распространения содержаний окиси хрома ( $Cr_2O_3$ )			
	Средняя вариация неравномерности колебаний содержаний, $V_{нр}$ , ед.	Средняя вариация отклонений содержаний, $V_c$ ед.	Средняя вариация неоднородности содержаний, $V_{нд}$ , ед.	Сред. Арифметическое и взвешенное значения содержаний $C_{а.с}/C_{вз}$	Амплитудн. изменчивость содержаний $d$ , %	Дисперсия колебаний содержаний $\sigma^2=D$	Площадь зоны, $S$ , тыс.м <sup>2</sup>
Зона высококачественных богатых руд							
$C_i > 52$	6.2(68%)	1.11	1.45	52.0/ 53.6	5.0	2.06/1.45	7.4
Зона модосредоточенных качественных руд							
$46 < C_{moi} < 52$	11.73(94%)	1.0	1.8	49.0/ 48.6	7.0	3.3/1.8	17.0
Зона рядовых смешанных нижекачественных руд							
$C_i < 46$	7.5(62%)	1.23	1.62	43.6/ 43.1	5.0	2.61/1.62	20.0
По рудной залежи							
40÷56	7.8(60%)	1.4	5.2	48.0/ 48.7	15.0	26.8/5.2	28.0

**Таблица 2. Сводные натурно-экспериментальные результаты расчёта показателей изменчивости(дисперсии) и точности (среднеквадратической ошибки) определения среднего содержания по геологическим участкам богатых высококачественных, модосредоточенных качественных и рядовых нижекачественных руд в условиях Геофизического хромитового и Лисаковского железорудного месторождения**

№	Геологические участки зональных запасов руд	По хромовому Геофизическому месторождению				По железорудному Лисаковскому месторождению			
		Геоиндикат. квалитметрич. признаки, %	Дисперсия, $D/\sigma$	Средне-квадратическая ошибка, М	Степень уменьшения ошибки дол. ед./%	Геоиндикат. квалитметрич. признаки, %	Дисперсия, $D/\sigma$	Средне-квадратическая ошибка, М	Степень уменьшения ошибки дол. ед./%
1	Участок зонального запаса рядовых нижекачественных руд ( $n_1=40$ )	$C_i < 46$	2.61/1.62	0.26	1.6/36.0	$C_i < 36.6$ ( $n=90$ )	11.8/3.4	1.6/36.0	1.3/21%
2	Участок зонального запаса модосредоточенных руд ( $n_2=83$ )	$46 < C_{moi} < 52$	1.72/1.31	0.14	2.9/70.0	$36.6 < C_{moi} < 46$ ( $n=117$ )	3.3/1.8	2.9/70.0	2.6/60%
3	Участок зонального запаса богатых высококачественных руд ( $n_3=35$ )	$C_i > 52$	2.06/1.45	0.24	1.7/41.0	-	-	-	-
4	По базовому геологическому запасу ( $N=158$ проб)	46÷52	26.8/5.2	0.41	1.6÷2.5	22÷46 ( $N=207$ проб)	45.4/67	0.44	1.3÷2.5

Лисаковское железорудное месторождение. Пологое залегание, глубина 20÷50 м, главный химический компонент – железа (Fe), плотность детальной разведки 40÷60 м, бортовое содержание по железу - 30%, главный залежь месторождения: мощность - 50 м, площадь – 1 400 000 м<sup>2</sup>, общие значения (по месторождения), среднего содержания железа – 42.27%, абсолютной изменчивости (стандарт отклонения) содержания – 12.3 ед. относительной изменчивости – коэффициент вариации содержания железа - 29.1 %. По данным фактических значений содержания Fe составлена статистическая совокупность (N = 207 ед.) и определены статистический ряд частот по классовым интервалам разбиения содержания железа по залежи. Процесс расчленения геологического запаса на зональные рудные участки осуществлена на базе размеров зон влияния модальной величины содержания металла. Оценка среднеквадратической ошибки определения содержания проведена по воспроизведения участков рядовых смешанных нижекачественных, модососредоточенных качественных (высокоинформативных), богатых высококачественных руд, а также по общему запасу залежи. Расчет среднеквадратической ошибки выполнен по значению среднеквадратического отклонения ( $\sigma_i$ ) и количество проб ( $n_i$ ) по изучаемым объектам (таблица 2).

Процесс квалиметрического расчленения геологического запаса с применением модальных геоиндикаторов осуществлен на базе параметров зон концентрации модальной величины содержания металла ( $C_{m0}$ ,  $C_{m.з}$ ,  $C_{б.з}$ ) с выделением трех однородных участков. Показатели стабильности ( $V_c$ ,  $V_n$ ,  $V_{нд}$ ) и изменчивости ( $D$ ,  $\sigma$ ,  $V$ ) подсчитаны с привлечением формул среднеарифметического и средневзвешенного (1), геометрической неопределенности контура среднего (10) и точности (среднеквадратической ошибки) их определения (6). В качестве объектов их оценки использованы данные воспроизведены участков рядовых смешанных нижекачественных, модососредоточенных качественных высокоинформативных и богатых высококачественных руд, а также общий запас залежи.

Натурно-экспериментальные оценки (таблицы 1, 2) и результаты определения достоверности планируемого потребительского качества руд по данным геологогеометрических совокупностных и частотностных целостностей, оконтуренных в виде зоны концентрации модальной величины содержания представляющей участок высокоинформативных качественных, зоны пониженного ее влияния ( $C_i < C_{m0}$ ) – участок рядовых смешанных нижекачественных и зоны повышенного ее влияния ( $C_i < C_{m0}$ ) – участок богатых высококачественных руд, подтверждают, что:

- величины неравномерности колебаний ( $V_{нр}$ ), неоднородности ( $V_{од}$ ), случайной изменчивости ( $V_{сл}$ ) содержаний, определяющий уровень стабильности распространения их значений, уменьшаются в среднем в условиях Геофизического хромитового на  $V_{нр}=1.2\div1.7$ ,  $V_{од}=1.2\div4.0$ ,  $V_{сл}=2.7\div2.2$  раза, Лисаковского железорудного месторождения на  $V_{нр}=1.3\div2.0$ ,  $V_{од}=1.2-2.0$ ,  $V_{сл}=1.4-2.5$  раза.
- абсолютная среднеквадратическая изменчивость ( $\sigma_c$ ) и амплитудный размах ( $d_c$ ) содержаний уменьшаются

в среднем по Лисаковскому железорудному  $\sigma_c = 1.4\div4.0$ ,  $d_c = 1.5\div3.5$  раза и Геофизическому хромитовому месторождению  $\sigma_c = 1.3\div3.5$ ,  $d_c = 2.1\div4.0$  раза.

точность определения среднего содержания по средневзвешенному способу с привлечением частот выше за счет уменьшения изменчивости и неравномерности распространения полезного компонента, чем по арифметическому в 1.3÷1.5 раза. Точность определения потребительского качества рудных продукций повышаются чем при традиционном подходе пропорционально к уменьшению случайной изменчивости и неравномерности колебаний содержаний в условиях эксплуатации Геофизического хромитового, Лисаковского железорудного, и Жайремского полиметаллического месторождений в среднем 1.3÷2.5 раза. При этом абсолютная среднеквадратическая ошибка определения среднего содержания уменьшаются в среднем на 1.4÷4.0 раза (по Геофизическому 1.4÷2.5, Лисаковскому 1.5÷2.3, Жабремскому 1.7÷2.2 разы). Для расчета случайной ошибки определения среднего содержания использована широко распространенная формула, через разности

$$\left( \sigma_{сл} \sqrt{\sum_1^k \frac{(C_i - \bar{C})^2}{k-1}} \right) \text{ и абсолютной среднеквадратической}$$

ошибки – классическая формула  $\left( M = \frac{\sigma_c}{n} \right)$  с привлечением среднеквадратического отклонения ( $\sigma_c$ ) и количества проб ( $n$ ).

Геометрическая неопределенность границы геологического участка определена через ошибки оконтуривания совокупности содержаний осредняемый для подсчета среднего их значения по трем воспроизведенным однородным участкам, и установлены уменьшаемость ее по сравнению чем при традиционной практике в среднем на

1.40-1.60 раза. Для расчета принято  $\frac{n_z}{n_3} \approx \frac{P_z}{P_2} \approx \frac{L_k}{L_0}$  и эм-

пирические средние значения  $\frac{L_k}{L_0} = 1.33$ ,  $V_z = 0.67$  при

$m=0.37$  м подсчитанных по фактическим данным по железорудным и хромитовым месторождениям.

#### 4. Выводы

Раскрыты особенности «скрытых» структурно стабилизированных на уровне предельных минимумов величин неравномерности колебаний, неоднородности, статистической изменчивости и геометрической неопределенности содержаний металла, воспроизведенных зонально инвариантных и однородных геологических участков закономерно возникаемых при квалиметрическом расчленении запаса руд посредством модальных геоиндикаторов.

Установлена и подтверждена обеспечиваемость минимальных пределов отклонений содержаний исходной добычи, поступающих к обогащению перерабатывающим процессам от планируемых по выемочным участкам залежи, достигаемых при выемке запасов воспроизведенных участков рядовых, качественных, высококачественных и приконтурных руд, за счет кото-

рые устраняются недостоверность планируемого потребительского качества рудных продукций при добыче.

Величины неравномерности колебаний ( $V_{HP}$ ), неоднородности ( $V_{од}$ ), случайной изменчивости ( $V_{сл}$ ) содержаний, определяющий уровень стабильности распространения их значений, уменьшаются в среднем в условиях Геофизического хромитового на  $V_{HP} = 1.2 \div 1.7$ ,  $V_{од} = 1.2 \div 4.0$ ,  $V_{сл} = 2.7 \div 2.2$  раза, Лисаковского железорудного месторождения на  $V_{HP} = 1.3 \div 2.0$ ,  $V_{од} = 1.2 - 2.0$ ,  $V_{сл} = 1.4 - 2.5$  раза. Точность определения среднего содержания по средневзвешенному способу с привлечением частот за счет уменьшения изменчивости и неравномерности распространения полезного компонента выше, чем по арифметическому в  $1.3 \div 1.5$  раза. Достоверность определения потребительского качества рудных продукций повышаются чем при традиционном подходе пропорционально к уменьшению случайной изменчивости и неравномерности колебаний содержаний в условиях эксплуатации Геофизического хромитового, Лисаковского железорудного, и Жайремского полиметаллического месторождений в среднем  $1.3 \div 2.5$  раза.

Создаются геологометрические базы выходов потребительского качества руд и модернизации процессов разведки, подсчета, подготовки и выемки запасов твердых ископаемых, устраняются чрезмерные затраты на технические усреднения добытых руд, систематические потери металлов в отходах добычи и хвостах обогачительно-перерабатывающих процессов.

#### Литература / References

- [1] Kurmankozhaev, A. (2022). Sposob kvalimetrichej podgotovki geologičeskix zapasov tverdogo iskopaemogo po gorizontam rudnika. *Evrasijskij Patent § 040137*
- [2] Franckij, I.V., Bazanov, G.A. (1975). *Matematičeskaja stati-stika i geometrizacionija mestorozhdenij. Irkutsk: Irkutskij politehničeskij institut*
- [3] Gudkov, V.M., Hlebnikov, A.B. (1990). *Matematičeskaja obra-botka markshejderskogo-geodezičeskix izmerenij. M.: Nedra*
- [4] Kurmankozhaev, A. (2008). *Osnovy kvalimetrii georesursov v zadachah geodezii i markshejderii. Almaty: K.I. Satpaev KazNITU*

## Руданың жоспарланылған сапалық өнімінің өлшемдік растылығын орта сапа шамасы тұрғысында анықтау әдісі

А. Курманкожаев\*

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

\*Корреспонденция үшін автор: [kurmankozhaev\\_a@mail.ru](mailto:kurmankozhaev_a@mail.ru)

**Андатпа.** Әдіс мазмұны сапа көрсеткіштерінің орташақталынған шамаларын анықтайтын және олардың жыйнақтылығымен жиіліктілігінің бірлесулерінің квалиметриялық топтасуын қамтамасыз ететін, параметрлік емес қасиеттері белгілі сапа таралуының әрбағыттылығының, өзгергіштілігінің, белгісізділігінің шамаларының көлем ауытқуларының қасиеттерін пайдалану арқылы негізделінді. Әдістің концепциясы тұрғысында руданың модальдық концентрациясының квалиметриялық геоиндикаторлық қасиеттері арқылы, кен содержанияларының аумақталынып таралуымен біртектістігінің ерекшеліктерін пайдалана отырып, олардың квалиметриялық бірлестірілген жыйнақталуларын жасау негізі туындалынды. Әдістемелік ерекшелігі ретінде, содержаниялардың жоспарланылған орташа мәнін, қалыптасқан топталып сынамалар пайдалану практикасы емес, олардың квалиметриялық бірлестірілген бөліктері арқылы өлшем растылығын анықталатындығы тұжырымдалынды. Содержаниеларды квалиметриялық бірлестірілудің нәтижелері арқылы, сапалық өнімді өлшеуге арналған қазба бөлектері негізделініп квалиметриялық карталары жасалынды. Квалиметриялық топталырылған ортасапалы, сапалы, биіксапалы және шекаралық руда бөліктерін қазу нәтижесінде, өңдеу-байыту процестері арқылы алынатын руда сапаларымен оның кеңістегі анықталынған шамаларының ауытқуының шектелінетіні натуралық эксперимент тұрғысына дәлелденілді. Руда қорларын іздеу, есептеу, дайындау және қазу процестерін жаңартудың геологиялық-геометриялық базасы жасалынды, техникалық руда араластыруға жұмсалатын қаражаттар азайтылынылады, руданы өңдеу-байыту және қазу кезеңдерінде жоғалатын металдар көлемі шектелініледі.

**Негізгі сөздер:** әдіс, сапа, өлшемдік растырылығы, квалиметриялық сапатеңестіру, ауытқу, сапалық көрсеткіш, тұжырымдау, рудаараластыру, жоғалым, натуралық эксперимент.



## Метод оценки достоверности планируемого потребительского качества руд с учетом расчетной точности среднего их содержания

А. Курманкожаев\*

Satbayev University, Алматы, Казахстан

\*Автор для корреспонденции: [kurmankozhaev\\_a@mail.ru](mailto:kurmankozhaev_a@mail.ru)

**Аннотация.** Метод заключается в обеспечении достоверности планируемого потребительского качества руд путем использования непараметрических свойств вариации неравномерности, изменчивости и неопределенности содержаний, предопределяющих средневзвешенного значения среднего, по которым осуществляется воспроизведение квалитметрически осредненных совокупностей и частотностных целостностей содержаний. Метод основан на концепцию воспроизведения квалитметрически осредненных совокупностей содержаний, зонально базированных по характеру распространения и однородности их значений с применением квалитметрического геоиндикаторного свойства модальной концентрации руд. Принципиальное отличие метода состоит в достижении достоверности планируемого среднего содержания – «по участкам квалитметрически осредненных содержаний» взамен от традиционной – «по сгруппированным-точечным пробам», при котором достигаются стабилизация качества руд до добычи. По результатам квалитметрического осреднения содержаний составляют квалитметрические карты, содержащие геологические зоны качественных и рядовых руд, и руд с модальными содержаниями, и подсчетные блоки потребительского качества. Натурно-экспериментально подтверждена обеспечиваемость минимальных пределов отклонений содержаний исходной добычи, поступающих к обогащению-перерабатывающим процессам от планируемых по выемочным участкам, достигаемых при выемке запасов воспроизведенных участков рядовых, качественных, высококачественных и приконтурных руд. Создаются геологогеометрические базы модернизации процессов разведки, подсчета, подготовки и выемки запасов, сокращаются затраты на техническое усреднение, устраняются потери металлов в отходах добычи и хвостах переработки.

**Ключевые слова:** метод, качество, квалитметрическое осреднение, отклонение, содержание, стабилизация, воспроизведение, потери, натурный эксперимент.

<https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i4.06>

## The role of hydrodynamic and structural-tectonic factors in the formation of hydrocarbon deposits in the Jurassic sediments of the Bukhara-Khiva region

T.H. Shoimuratov<sup>1</sup>, N.Sh. Hajitov<sup>1</sup>, S.K. Kurbanyazov<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Institute of geology and exploration of oil and gas fields, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

\*Corresponding author: [saken\\_geo@mail.ru](mailto:saken_geo@mail.ru)

**Abstract.** The article discusses the study of reservoir fluids and the role of the hydrodynamic environment in the formation and preservation of hydrocarbon deposits within the Bukhara-Khiva oil and gas region. Aboveground water are the primary "transporter" scattered hydrocarbons, in certain geological hydrogeological conditions, they can contribute to their accumulation or destruction. In this regard, the study of the nature of the movement of fluids due to geological and tectonic processes is a necessary condition for assessing the prospects of oil and gas potential in the territories.

**Keywords:** hydrodynamics, hydrocarbon, reservoir, area, fluid, formation water, water complex, zone, hydraulic pressure, horizon, migration.

### 1. Введение

Геологическое строение Бухара-Хивинского региона (БХР) осложнено глубинными и локальными разломами, влияющими на общий гидродинамический режим пластовых флюидов. Особенности геолого-тектонического строения территории определяют формирование нескольких обособленных флюид динамических систем, в пределах которых формируются уже свои, но наиболее низшего уровня элементы распределения гидродинамического энергетического потенциала [1].

Целесообразность такого дифференциального подхода при изучении флюид динамики обоснована дальнейшей детализацией на уровне локальных площадей, которая позволяет системно интерпретировать флюид на динамические процессы с учетом геолого-тектонических условий.

### 2. Основная часть

По результатам построения схематической гидродинамической карты гидравлического напора пластовых вод юрских отложений БХР установлена гидродинамическая обстановка территории, в том числе: локальное и основное направление движения подземных вод; изменение градиентов пластовой фильтрации; участки с низкой и высокой потенциальной энергией пластовых вод и т.п. В дополнении к указанным показателям благоприятными гидродинамическими факторами для нефтегазонакопления являются: скорости движения подземных вод; малые гидродинамические уклоны; наличие зон пьез минимумов; «замкнутые зоны и структурные гидродинамические носы» с расчётными данными коэффициентов затруднённости водообмена. Результаты этих характеристик и комплексные гидродинамические анализы позволяют выде-

лить наиболее перспективные локальные районы с рассмотрением отдельных вероятных участков на предмет наличия скоплений залежей углеводорода (УВ).

Результаты величин приведенного напора свидетельствуют, что пьезометрическая поверхность юрского водонапорного комплекса имеет весьма сложное строение. Максимальные величины пьезометрических напоров в нижнесреднеюрских отложениях БХР приурочены к юго-восточной части региона (рисунок 1). Участки локальных пьез максимумов наиболее четко выражены в районах месторождений Сев. Нишан, Кирсан, Чилькувар, Алан (2322-2747 м), а участки локальных пьез минимумов – в районах площадей Карим, Расылкудук, Джаркак, Западный Караиз, Сарыташ, Ходжи, Хатар, Кумли (199-343 м). Их формирование связывается с неравномерным развитием более или менее водообильных коллекторов.

Зона резкого снижения напоров занимает юго-восточную половину Бухарской ступени, примыкающую к области снижения напоров. Перепад напоров от площадей Шурасан и Азляртепа до площадей Галаасия и Аладагир составляет 1466-259 м, а средний гидравлический уклон (i<sub>ф</sub>) на этом участке составляет около 1 м/км.

Построенные гидродинамические карты указывают на то, что Каганский пьезоминимум включает два локальных участка понижения напоров, которые тяготеют к Сеталантепинскому и Караизскому нарушениям, причем последний участок отличается открытой разгрузкой водоносных горизонтов. В отношении Газлинского пьезоминимума, с уточнением величины приведенных напоров по Учкырской и Сюзьминской площадям, появилась возможность зафиксировать его раскрытие в сторону Бухарской флексурно-разрывной зоны без суще-

ственного изменения взглядов на его происхождение, то есть отнесения его к переточному типу [2].

Новые данные по распределению напоров юрского водонапорного комплекса в юго-восточной части БХР свидетельствуют о наиболее высоких напорах в центральной части Чарджоуской ступени (Сев. Нишан, Култук, Алан 2322-2247 м) и их снижении по направлению к бортовым его участкам (Сев.Уртабулак– 709 м, Памук– 431 м, Сев.Камаши– 865 м, Шуртан– 945 м, Сев.Шуртан– 851 м). что указывает на наличие здесь элизионной водонапорной системы. Вероятно, эта зона сформирова-

лась в полосе взаимодействия внешней и внутренней областей создания напора, а наличие в этом районе регионального разлома большой амплитуды, видимо, облегчает совместную разгрузку инфильтрационных и элизионных вод [3]. Между областями создания элизионного и инфильтрационного напоров расположена обширная зона фронтального пьезоминимума, где наблюдается изменение (от 1.4 до 3.4 см/год) гидравлических градиентов и фильтрационных свойств пород, а также скорости фильтрации пластовых вод (таблица 1).

Таблица 1. Гидродинамические параметры движения подземных вод в нижне- и среднеюрских отложениях Бухаро-Хивинского региона

№ п/п	Площади и месторождения	Коэффициент		Фактич. уклон (I <sub>ф</sub> ), м/км	Скорость филт. (теоретич.) (V <sub>т</sub> ), см/год	Скорость филт. фактич. (V <sub>ф</sub> ), см/год	Коэф. затрудненн. (Ψ)
		проницаемости (k), дарси	пористости (m), %				
Бухарская ступень							
1	Шурасан-С.Азляртепа	0.008	8	14.6	4.0	47	0.09
2	Азляртепа- Раимсуфи	0.006	8	3.0	4.0	5.9	0.68
3	Карабанр-Сев. Шумак	0.008	8	0.9	3.9	3.1	1.25
4	Галаасия-Атбакор	0.008	8	0.2	3.8	0.6	6.3
5	С.Азляртепа- Аладагир	0.007	9	0.7	3.6	1.5	2.4
6	Сев.Мубарек-Карим	0.008	8	2.0	3.9	6.3	0.6
7	Юлдузкак-Джаркак	0.008	8	4.3	3.8	12.6	0.3
Чарджоуская ступень							
8	Алан- Уртабулак	0.0001	6	58	3.9	3.6	1.1
9	Уртабулак-Денгизкуль	0.0008	7	7.4	3.8	2.3	1.6
10	Денгизкуль-Сев. Шады	0.0008	7	3.0	3.8	0.9	4.2
11	Сев. Шады-Алат	0.0008	7	1.68	3.8	0.53	7.2
12	Зап. Ходжи- Акум	0.0008	7	1.5	3.7	0.5	7.4
13	Акум-Сев.Сюзма	0.0008	7	0.8	3.7	0.25	14.8
14	Сев. Сюзьма-Гугуртли	0.0002	8	0.9	3.7	0.07	12.8
15	Сев. Нишан-Гугуртли	0.0001	6	6.0	3.6	0.3	12
16	Алан-Гугуртли	0.0001	6	7.2	3.6	0.35	10.3
17	Джамбулак-Аманата	0.0001	4	17.7	3.9	1.4	2.8
18	Сев. Нишан-Шуртан	0.0001	4	39.3	3.9	3.1	1.26
19	Сев. Нишан- Мангит	0.0001	4	38	3.9	3.0	1.3
20	Джамбулак- Шуртан	0.0001	4	21.8	3.9	1.7	2.3
21	Сев. Нишан- Сев. Камаши	0.0001	4	42.8	3.9	3.4	1.1

Для площадей и месторождений средние значения коэффициента проницаемости в Бешкентском прогибе составляют 0.0001 дарси, а коэффициента пористости – 4%. В аномальных зонах гидравлический уклон изменяется в пределах 21.8-42.8 м/км, скорость фильтрации составляет от 1.4 до 3.4 см/год, коэффициент затрудненности движения пластовых вод (Ψ) в пределах 1.1-2.8. Аналогичные изменения гидродинамических параметров отмечают и на восточном борту Денгизкульского поднятия (в районе месторождений Алан, Зеварды, Уртабулак): проницаемость от 0.0001 до 0.0008 дарси; пористость от 6 до 7%; гидравлический уклон от 7.4 до 58 м/км и скорость фильтрации 2.3-3.6 см/год при коэффициенте затрудненности движения пластовых вод 1.1-4.2. Далее, в западном направлении отчетливо прослеживается постепенное уменьшение приведенных напоров, гидравлических уклонов, скоростей фильтрации при постепенном увеличении коэффициента затрудненности движения пластовых вод, в частности: в направлении от Сев. Шады к площади Алат  $i_f = 1.68$  м/км,

$V_f = 0.53$  см/год,  $\Psi = 7.2$  и в направлении от Сев. Сюзьма к площади Гугуртли  $i_f = 0.9$  м/км,  $V_f = 0.07$  см/год,  $\Psi = 12.8$ .

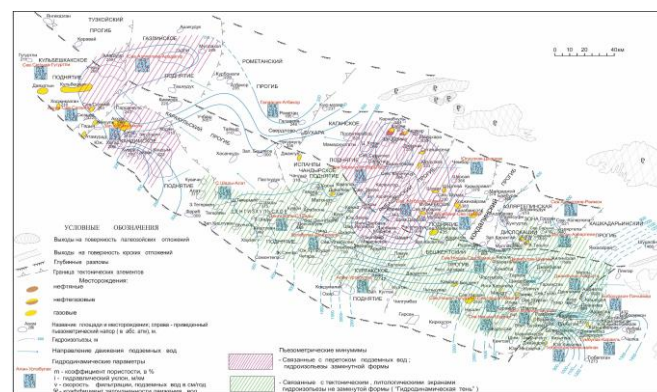


Рисунок 1. Гидродинамическая карта нижне- и среднеюрских отложений Бухаро-Хивинского региона (по материалам Т.Х.Шоймуртова, 2021 г.)

Для территории Бухарской ступени в нижнесреднеюрских отложениях от площади Сев. Азляртепа до площади Аладагир скорости фильтрации пластовых вод уменьшаются до 1.5 см/год, при повышенном коэффициенте затрудненности движения пластовых вод - 2.4. Региональный наклон пьезометрической поверхности в северо-западном направлении отнюдь не отмечается равномерностью, поскольку для него характерна частая смена сгущения и разряжения гидроизопьез с соответствующими резкими колебаниями величин гидравлических уклонов от 0.2 до 14.6 м/км и скоростей фильтрации подземных вод от 0.6 до 47 см/год.

Следовательно, в зависимости от гидродинамических параметров в нижнесреднеюрских отложениях линии гидроизопьез отражают сложную гидродинамическую обстановку в виде преломлений, сгущений, замкнутых и раскрытых зон пьезоминимумов. Гидродинамические аномальные зоны с благоприятными условиями формирования и сохранения залежей УВ фиксируются в пределах Газлинского, Кандымского, Каганского и Мубарекского поднятий [4].

Максимальные величины приведенных пьезометрических напоров в верхнеюрских отложениях БХР установлены на площадях, наименее удаленных от горного обрамления: Шурасан - 1479 м, Аманата - 1020 м и на площадях Нишан - 3350 м, Чильгумбаз - 3118.3, Зап. Култак - 3140 м. От этих площадей пьезометрические напоры закономерно понижаются в западном и северо-западном направлениях (рисунок 2).

Анализ гидродинамических условий верхнеюрского водонапорного комплекса БХР показывает, что в северной части Бешкентского прогиба, вдоль Учбаш-Каршинского разлома через площади Сев. Камаша, Сарбазар, Жилинская располагается гидродинамическая зона с относительно низким гидравлическим напором (393.0-508.0 м), в виде замкнутого пьезоминимума субширотного простирания, почти параллельного очертанию прогиба. Происхождение этой зоны связано, по всей вероятности, с напряженным гидродинамическим режимом в пределах глубинного разлома, к которому приурочены различные дизъюнктивные нарушения с широко развитыми разноориентированными тектоническими трещинами. В зоне этих тектонических нарушений происходит частичное дренирование подземного потока, которое приводит к частичному погашению гидравлического напора. Исходя из этой гидродинамической обстановки и учитывая большую амплитуду Учбаш-Каршинского разлома, эта зона рассматривается как отдельное геологическое тело со своими обособленными гидрогеологическими условиями. В этой зоне существуют предпосылки нахождения УВ ловушек различного характера – литологических, тектонических и гидродинамических.

Величина приведенных напоров верхнеюрского водонапорного комплекса с удалением от источника создания напора постепенно снижается от 573 м (пл. Яккасарай) до 436 м (пл. Азляртепа), также в пределах Мубарекского поднятия от 366 м, 310 м, 98 м, соответственно площади Карабаир, Северный Шумах, Шимолий Дарбаза. В районе месторождений Карим, Дарбаза, Расылкудук, Сев. Майманак гидродинамическая обстановка осложнена пьезометрическим минимумом, приуроченным к Бухарскому глубинному разлому.

Разгрузка юрских водоносных горизонтов происходит в ряде районов транзита. Мубарекского, Каганского, Газлинского поднятий (площади Карабаир, Шуртепа, Джаркак, Караиз, Газли, Шимолий Дарбаза, Питняк и др.), что подтверждается как гидродинамическими (уменьшение напоров вверх по разрезу, наличие зон пониженных напоров), так и гидрохимическими аномалиями поверхностных вод в местах разгрузки.

Резкий пьезометрический минимум в верхнеюрских отложениях (275 м, 296 м) выражен на площадях Джаркак, Западный Караиз и Центральный Каган. Учитывая его отражение в виде гидрохимической аномалии в меловых отложениях, можно согласиться с предположением сделанным В.А.Кудряковым (1985) о гидравлической связи юрских и меловых горизонтов в Джаркак-Сеталантепинской зоне нарушений, то есть скрытую разгрузку юрских водоносных горизонтов [2]. На схематической карте гидроизопьез верхнеюрских отложений БХР Мубарекский и Каганский районы выделяются как области сравнительно резких падений напоров. Особенно резкий перепад напоров обнаружен в районе площадей Зеварды, Южный Уртабулак, Джарчи и Шода, причем, в этом районе заметны высокие гидравлические уклоны и относительно высокие фильтрационные скорости подземных вод.

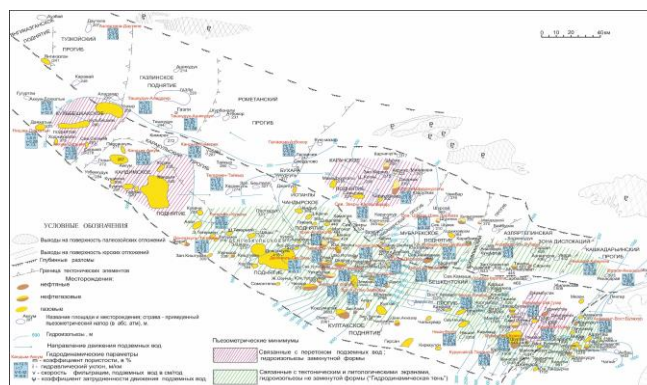


Рисунок 2. Гидродинамическая карта верхнеюрских отложений Бухаро-Хивинского региона (по материалам Т.Х.Шоймуротова, 2021 г.)

Гидродинамические аномалии, отражающиеся в конфигурации гидроизопьез, обнаружены в районах Денгизкульского и Испанлы-Чандырского поднятий с формированием незамкнутых пьезоминимумов, являющихся благоприятными зонами для скопления и сохранения УВ залежей.

Распределение энергии потенциометрической поверхности пластовых вод юрского водонапорного комплекса БХР свидетельствует о том, что основное направление движения подземного потока пластовых вод, следовательно, и остальной части флюидов, имеет направление с юга и юго-востока на север и северо-запад, за исключением некоторых локальных площадей, расположенных внутри региона и отличающихся низкими или высокими гидравлическими напорами. Примером тому могут служить площади Каганского, Денгизкульского поднятий и Бешкентского прогиба, где выявлены локальные участки, соответственно, с низкой и высокой энергиями потока и изменениями в направлении течения подземного потока на фоне общегидродинамического режима.

Также следует отметить, что в юго-восточной части БХР выделяется обширная зона пьезометрического максимума – зоны аномально высоких пластовых давлений (АВПД), территориально совпадающих с областью распространения верхнеюрских соляно-ангидритовых пачек. Возможно, зона АВПД связана как с изолированными участками природных водонапорных систем, унаследовавших пластовую энергию от предшествующего этапа гидрогеологического развития, так и с изменениями пластовой энергии при современных тектонических, физико-химических и других процессах. В таком понимании явление АВПД рассматривается как частный случай гидродинамических аномалий, связанных именно с изоляцией локальных участков водонапорной системы [5].

Анализ распределения пластовых давлений подземных вод юрского водонапорного комплекса Бешкентского прогиба показывает, что из 42 замеров в 16 АВПД характеризуются величинами  $K_a > 1.20$ . Следует отметить, что рассматриваемые участки АВПД, в основном, приурочены к зонам тектонических напряжений и мощным солевым покрышкам, где расположены уже известные месторождения с высоким коэффициентом аномальности: Чильгумбаз (1.92); Чулькувар (1.49); Камаша (1.73); Изганча (1.43); Бешкент (1.74); Нишан (1.55); Феруза (1.44); Шеркент (1.31); Мангит (1.31); Джамбулак (1.36).

Такой расклад распределения АВПД позволяет сделать заключение об открытости этих глубинных разломов для рассматриваемых флюидных потоков. Данное явление находит свое подтверждение в зоне развития Лянгаро-Караильского разлома и узлов их пересечений, где пьезометрические напоры в верхнеюрских отложениях понижаются с 1096 м (площади Караиль) до 800-900 м (месторождение Бузахур). Аналогичная ситуация отмечена и в районе площадей Нишан (3350 м) и Гирсан (700-1000). Если допустить, что направление падения напоров совпадает с направлением горизонтальной миграции УВ, то можно предположить, что в данной флексурно-разрывной зоне горизонтальная миграция УВ сменилась вертикальной. Возможно, это способствовало перетоку флюидов из отложений одного стратиграфического комплекса в другой [6]. Подтверждением могут служить результаты химического анализа проб воды, отобранные из XII и XIV горизонтов нижнемеловых отложений месторождения Бузахур, где они представлены слабыми рассолами (98.8-114.6 г/л) хлор-кальциевого типа (по классификации В.А. Сулина), с повышенными значениями водорастворенных органических веществ (ВРОВ), что характерно для пластовых вод верхнеюрских отложений [5].

Таким образом, анализ фактического материала по гидродинамике и гидрохимии нижне-, средне- и верхнеюрских водонапорных комплексов, вместе с результатами литолого-фациальных, структурно-тектонических и битуминологических исследований, позволил установить общие и специфические черты гидрогеологической модели формирования УВ-залежей в юрских отложениях БХР.

Благоприятность седиментационного этапа гидрогеологического развития юрского водонапорного комплекса БХР, состоит в замедленной миграции водных растворов нефтеобразующих веществ, что способствует образованию залежей нефти и газа и препятствует их разрушению. В данном случае одной из важных гидрогеологических предпосылок является приуроченность УВ-залежей

к очагам древней и современной разгрузки, фиксируемых в качестве зон пьезоминимумов. В этих зонах, в связи с изменением гидрохимических и гидродинамических условий (увеличение минерализации, уменьшение температуры и давления подземных вод, фильтрационный эффект и др.), происходит фазовое обособление УВ из седиментационных вод с последующим всплыванием и накоплением нефти и газа в ловушках. Низкие гидравлические уклоны, характерные для седиментационного этапа, препятствуют уходу пузырьков газа и капель нефти из ловушек.

### 3. Выводы

Рассмотренные вопросы генезиса подземных вод юрских отложений БХР и современного гидродинамического режима на различных его участках имеют прямое отношение к оценке роли гидрогеологического фактора в формировании и размещении нефтяных и газовых залежей. Следовательно, на основании анализа и обобщения результатов гидродинамических исследований, проведенных для оценки перспектив нефтегазоносности юрских отложений исследуемой территории, возможно сделать следующие выводы:

- проявляются участки, наиболее характерные с точки зрения аккумуляции УВ в разнообразных ловушках, которые в структурном плане расположены в местах, где изолинии гидравлического напора образуют «замкнутое понижение» в пределах Газлинского, Каганского, Кульбешкакского, Кандымского поднятий и Бешкентского прогиба и прилегающих к ним территорий;

- обнаружены гидродинамические аномалии, связанные с тектоническим и литологическим экранами в районах Денгизкульского, Испанлы-Чандырского и Култакского поднятий, с формированием пьезоминимумов незамкнутой формы, являющихся благоприятными зонами для скопления и сохранения УВ-залежей.

- отмечается гидродинамическая зона с низким гидравлическим напором, выявленная вдоль Учбаш-Каршинского разлома, которая представляет собой пространство с низкой потенциальной энергией, способствующей формированию в данной зоне ловушек УВ-сырья;

- установлено наличие зон пьезоминимумов и АВПД;

- создается возможность перетока флюидов из отложений юры в меловые в районе месторождения Бузахур и Сев. Гузар.

Таким образом, с геологических позиций рассмотрение в представленном ракурсе гидродинамических особенностей подземных вод юрских отложений Бухара-Хивинского региона заслуживает внимания в качестве поискового критерия при выборе рационального направления поисково-разведочных работ на нефть и газ и обосновании прогноза нефтегазоносности отдельных площадей и участков.

### Литература / References

- [1] Alekseev, V.P., Tal'-Virskij, B.B. (2000). Tektonika i perspektivy neftegazonosnosti Beshkentskogo megaproгиба. *Sbornik nauchnyh trudov OAO «IGIRNIGM»*, (79)
- [2] Kudrjakov, V.A. (1985). Neftegazonakoplenie v geogidrodinamicheskikh sistemah. *Tashkent*, 102-130

- [3] Shoimurotov, T.H. (2019). Gidrodinamicheskie osobennosti podzemnyh vod jurskih otlozhenij jugovostochnoj chasti Buharo-Hivinskogo regiona. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Aktual'nye problemy neftegazovoj geologii i innovacionnye metody i tehnologii osvoeniya uglevodorodnogo potenciala neдр»*. Tashkent
- [4] Shoimurotov, T.H., Hudoberdiev, H.F. (2017). O vozmozhnyh prichinah vertikal'noj zonal'nosti raspredelenija uglevodorodov, svjazannyh s gidrodinamicheskim rezhimom jur-skogo vodonapornogo kompleksa Beshkentskogo progiba. *Uzbekskij zhurnal nefti i gaza*, (3), 26–29
- [5] Shoimurotov, T.H. (2017). Gidrohimicheskaja zonal'nost' podzemnyh vod mezozojskih ot-lozhenij severovostochnoj chasti Karakumskoj vodonapornoj sistemy (Buharo-Hivinskij neftegazonosnyj region). *SOCAR Proceedings*, (3), 9–74
- [6] Ibragimov, A.G., Fortunatova, N.K., Sunnatov, M.S. (2013). Perspektivy otkrytija za-lezhej bessernistogo gaza v melovyh otlozhenijah Beshkentskogo progiba Buharo-Hivinskoy neftegazonosnoj oblasti. *Geologija nefti i gaza*, (3), 28–33

## Бұхара-Хива аймағының Юра шөгінділерінде көмірсутектер кен орындарының қалыптасуындағы гидродинамикалық және құрылымдық-тектоникалық факторлардың рөлі

Т.Х. Шоймуратов<sup>1</sup>, Н.Ш. Хайитов<sup>1</sup>, С.К. Курбаниязов<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Геология және мұнай-газ кен орындарын барлау институты, Ташкент, Өзбекістан

<sup>2</sup>Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан, Қазақстан

\*Корреспонденция үшін автор: [saken\\_geo@mail.ru](mailto:saken_geo@mail.ru)

**Аңдатпа.** Мақалада Бұхара-Хива мұнай-газ аймағы шегінде көмірсутек шикізат кен орындарын қалыптастыру мен сақтаудағы гидродинамикалық жағдайдың рөлі мен қабаттық сұйықтықтарды зерттеу қарастырылады. Жер асты сулары шашыраңқы ультракүлгін сәулелердің негізгі "тасымалдаушысы" болып табылады, белгілі бір геологиялық-гидрогеологиялық жағдайларда олар олардың жиналуына немесе жойылуына ықпал етуі мүмкін. Осыған байланысты геологиялық-тектоникалық процестерге байланысты сұйықтық қозғалысының сипатын зерттеу аумақтардың мұнай-газ перспективаларын бағалаудың қажетті шарты болып табылады.

**Негізгі сөздер:** гидродинамика, көмірсутек, кен орны, алаң, сұйықтық, қабат суы, су қысымы кешені, аймақ, гидравликалық бас, көкжиек, көші-қон.

## Роль гидродинамических и структурно-тектонических факторов в формировании залежей углеводородов в юрских отложениях бухаро-хивинского региона

Т.Х. Шоймуратов<sup>1</sup>, Н.Ш. Хайитов<sup>1</sup>, С.К. Курбаниязов<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений, Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясауи, Туркестан, Казахстан

\*Автор для корреспонденции: [saken\\_geo@mail.ru](mailto:saken_geo@mail.ru)

**Аннотация.** В статье рассматривается изучение пластовых флюидов и роль гидродинамической обстановки на формирование и сохранение залежей углеводородного сырья в пределах Бухаро-Хивинского нефтегазоносного региона. Подземные воды являются основным «транспортёром» рассеянных углеводородов, при определенных геолого-гидрогеологических условиях они могут способствовать их накоплению или разрушению. В связи с этим, изучение характера движения флюидов, обусловленных геолого-тектоническими процессами, является необходимым условием для оценки перспектив нефтегазоносности территорий.

**Ключевые слова:** гидродинамика, углеводород, залежь, площадь, флюид, пластовая вода, водонапорный комплекс, зона, гидравлический напор, горизонт, миграция.

<https://doi.org/10.51301/ejsu.2022.i4.07>

## Dangerous geological processes on Lake Kolsai and the impact of Anthropogenic load on the DGP

M.R. Zapparov<sup>1</sup>, M.K. Kasenov<sup>2</sup>, E.S. Auelkhan<sup>1\*</sup>, B.T. Serikov<sup>1</sup>, S.N. Nurmukhanbet<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>KazSeleZaschita, Almaty, Kazakhstan

\*Corresponding author: [y.auelkhan@satbayev.inuversity](mailto:y.auelkhan@satbayev.inuversity)

**Abstract.** This article shows research the risks of landslide processes on the territory of Lake Kolsai, as well as the influence of anthropogenic factors on dangerous geological processes. Examples of data processing from LandSat-7,8 satellites using the Google Earth Pro program and images of the territory of Lake Kolsai using unmanned aerial vehicles are shown. The main purpose of this article is to use the analysis of data from previously carried out works to assess the conditions of zones with potentially dangerous development of landslide processes, as well as to give predictive assessments of the risks of DGP in this area. The area of research is the left side of Lake Kolsai in the northern Tien Shan, in the Kolsai Gorge, in the bridge connecting the Kungei and Zailiysky Alatau ridges. At the end of the nineteenth century, a number of major earthquakes occurred in the above-mentioned area, which caused enormous damage to the environment and to the people of the coastal areas. Subsequently, after these earthquakes, dangerous zones with a potential risk of landslide processes were formed in the study area. This article deals mainly with the left side of Lake Kolsai, which changes year after year due to the strong anthropogenic load. For this article, the collected satellite images and photographs from the UAV have been processed, interpreted and the necessary data extracted. The analysis of previously carried out works is made.

**Keywords:** UCP, monitoring, LandSat, Google Earth pro, satellite images, fault, landslide processes, earthquake, seismology.

### 1. Introduction

The Shelek river basin occupies the southeastern part of the Ile Alatau ridge and the northeastern part of the Kungei Alatau ridge. The river has a length of 245 km, the basin area is 4980 km<sup>2</sup>. The climate here is sharply continental with large daily and annual air temperature amplitudes.

The Shelek River originates from the Zhangaryk glacier at an altitude of 4300 abs.m. It receives a number of tributaries. The river bed is moderately winding, composed of boulders, pebbles and sand, with a large amount of loose clastic material [1].

Here, the most significant dangerous geological processes are observed in comparison with the nearby river basins. The catastrophic earthquakes of 1887, July 1, 1889 (10 points, Chilik) and 1911 left their grandiose traces in the form of huge landslides and landslides. Which created the most beautiful dammed lakes, blocking mountain rivers.

The Kolsai River is the right tributary of the Shelek River. The river has three unnamed tributaries, two of which are left-bank. There is no glaciation in the river basin. In the upper part of the basin (2000-3400 abs.m) the relief is smoothed, although in some places there are rocky outcrops and scree. At altitudes of 3000-2800 abs.m, erosion processes are weakly expressed, however, when the continuity of the turf is disturbed, potholes form on the slopes. In the lower zone (1600-2800 abs.m), the relief is characterized by sharp shapes and steep slopes, which contributes to active erosion processes [2].

There are three large dammed lakes in the river basin, located directly in the bed of the Kolsay River. The cascade of lakes on the Kolsai river is more than 1000 years old.

The first (Upper Kolsai), at an altitude of 2660 m is the first lake. Its length is 580 m, average width is 190 m, maximum depth is 23,5 m. The runoff is carried out by filtering through the body of the cofferdam, composed of fine and medium detrital material with a large amount of gravel-fine earth filler. The length of the cofferdam is 790 m, the width is 200 m, the slope of the surface is 30°. The lake belongs to the high category of mudflow hazard.

The second lake (Middle Kolsai) has a water level mark of 2250 m. Its length is 1150 m, average width is 298 m, maximum depth is 57 m. Flowing lake with 3 incoming tributaries and 1 outflow. The dam consists of large debris with little aggregate content.

The third lake (Lower Kolsai) is located at an altitude of 1800 m. Before the breakthrough with partial emptying in 1984, its length was 1520 m, average width – 222 m, maximum depth - 38.6 m. Lintel width – 50 m, length – 830 m. The right part of the cofferdam slope is coarse-grained (scree with fragments up to 0.5 m in diameter), the left part is made of fine-grained equipment. All three dams of the Kolsai lakes have at the base of the rocky cut rocks, then blocked by landslide and landslide masses, with a volume on the lower and middle lake of 300-500 thousand m<sup>3</sup>, on the upper - 150-200 thousand m<sup>3</sup> [1].

Recently, the Kolsai Lakes are a popular holiday destination not only for residents of Almaty, but also for tourists of near and far abroad.

On weekends, the number of tourists is about 2000 people, while the number of passenger vehicles on average exceeds 200 units, the number of buses is more than 40 units.

*For reference:*

On June 2, 1984, on Lake Nizhny Kolsai, as a result of increased flow, which led to undermining and collapse of the left part of the cofferdam body, composed of loams and subsequent breakthrough of the blockage, 509 thousand m<sup>3</sup> of water was drawn from the lake with a maximum flow rate of 19.4 m<sup>3</sup>/s. At the same time, the height of the lake cofferdam decreased by 1.59 m. A mudflow with a flow rate of 25.5 m<sup>3</sup>/s was formed in the mudflow incision.

On June 2, 1987, a partial emptying of the lake occurred again, which led to the formation of a debris flow cofferdam in the mudflow incision with a flow rate of 56 m<sup>3</sup>/s. After the collapse of the mudflow mass at the first kilometer below the incision, the flow was transformed into a nanowater flood. 217 thousand m<sup>3</sup> of water was drawn from the lake, the lake level dropped by 0.7 m.

At the end of the 19th century, a number of large earthquakes occurred on the territory of the study area, after which dangerous zones appeared on this territory with a potential risk of developing landslide processes.

The main parameters of the earthquake: the epicentral zone of the earthquake covers the eastern parts of the Ile and Kungei Alatau ranges and extends from the Ili River to the north-eastern coast of the lake Issyk-Kul. After the earthquake, cracks formed, many huge screes and landslides in the mountains and gorges. On June 21, 1938, at the mouth of the Bolshoy Kemin River, the Kemino-Chuy catastrophic earthquake occurred in the southwestern regions, it manifested itself with a force of 7-8 points (in Almaty 6 points). In the period until 1970, after this earthquake, a seismic lull occurred in the Almaty observation zone, and since 1970 the Almaty zone became active again: Sarykamysk on June 5, 1970 (in the Kegen region - up to 6 points), Toraigyrl on February 12, 1975 (in Chilik region - up to 6 points) and a number of other tangible tremors. On March 25, 1978, the Zhalanash earthquake occurred with the epicenter in the area of the eastern immersion of the Kungei Alatau. After the Kemin disaster of 1911, it is the largest in this zone. The strength of the concussion in the Kegen region reached 8 points, which brought huge material damage [2].

On November 12, 1990, another strong earthquake was recorded in the Almaty zone - the Baysorun earthquake. His strength in Kegen district reached 8 points. This earthquake ended the next stage of the activation of seismic activity in the territory of the Almaty zone. The zones of distribution of the earthquake are shown in Figure 1, on the specified map it can be seen that during the period of the above time the seismic activity near Lake Kolsai was 8-9 points. In this regard, landslides and potential areas of landslides and landslide processes were formed [3].

The parameters of the erosion source of Lake Nizhny Kolsai are: length - 1.6 km, average width of the cut at the base - 50 meters, average width of the cut at the top - 200 meters, the height of the sides of the cut in the upper part of the 50-70 meters.

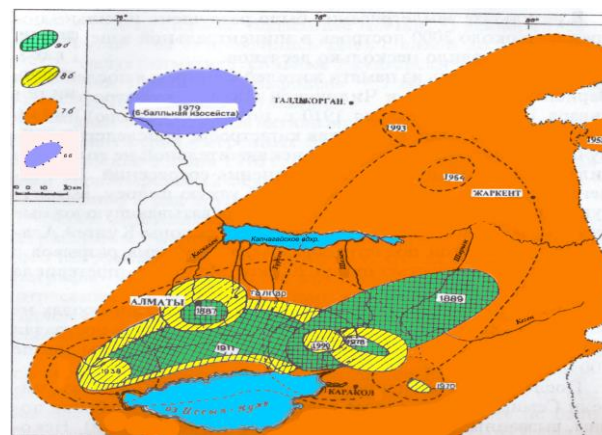


Figure 1. Schematic map of strong earthquakes in the Almaty region

The left side is steep, consists mainly of gravelly gravel deposits forming a plume of scree almost throughout the incision, which will be worked out to the natural angle of slope. Soil layer about 30 cm. The shedding process will continue until the formation of a natural slope of the soil. Depending on the intensity and amount of precipitation, the melting of snow will take about 3-7 years. Presumably, the edge of the erosion cut will move another 30-40 meters. Also, on the port side on the body there are wedgings of groundwater with insignificant expenses due to precipitation. On the slope of the cut there are landslides with volumes of up to a thousand cubic meters.

Lake lintel in satisfactory condition. No traces of wedging out of filtration waters were revealed. It is necessary to carry out repair and restoration work and reconstruction of the structure.

On the body of the landslide and in the erosion focus there is a large anthropogenic load which is expressed in the construction of houses and buildings, the lack of a unified sewerage system, the construction of swimming pools, the lack of supply and discharge structures, sealed containers for wastewater, toilets, etc. (Figure 2, a,b).

As a result of catastrophic displacement, the original rocks are divided into separate blocks and crumpled into complex folds and lenses. Some of the largest blocks retained their structure and were found in outcrops along the escarpments of the dam's body. The bulk of the rock is represented by difficult contact blocky, gravel and gruss soils with traces of the external structure. Dark gray clays and loams, both formed during the friction of displacement and involved in this process, red-brown neogene cohesive soils act as fillers.

The steepness of the sides in the upper part, composed of soils of the blockage itself (composition see above) is 70...90°, while in some areas the surface of the slopes has a reverse slope of up to 5°. The height of such slopes varies within 5...20 m.

Below (i.e., almost the entire) surface of the sides of the valley Kolsai river is formed by a plume of talus, represented mainly by crushed stone and woody soils with sandy-loamy aggregate. The steepness of the scree surface varies within 37...52°, i.e. the bodies of scree are in an unstable state, the detrital material is constantly shifting down especially actively during the period of snowmelt and heavy rains.



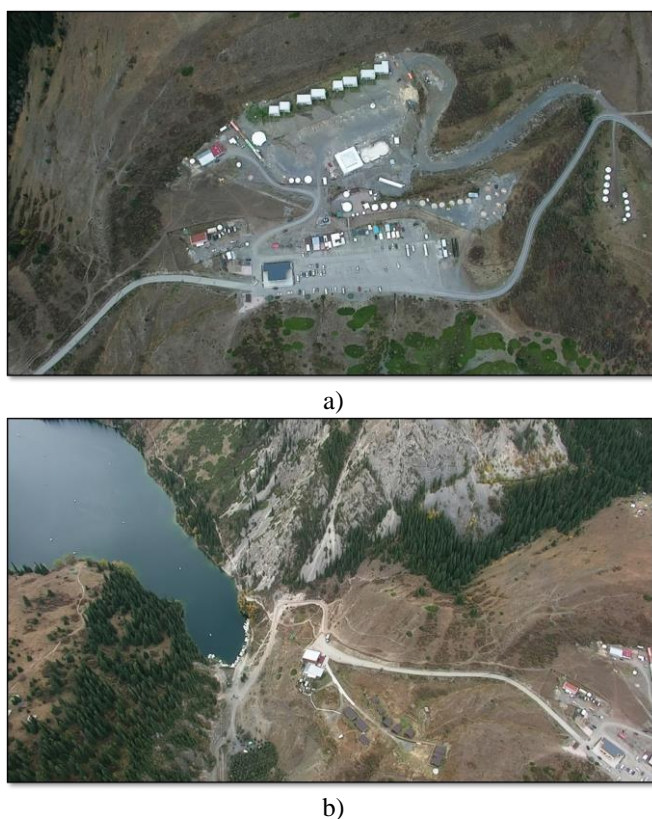


Figure 2. Structure on the erosion focus (picture from UAV)

In addition, the surface of the sides is disturbed by numerous water-erosion incisions, along which temporary watercourses actively displace the soil masses of the blockage and scree to the riverbed, forming alluvial fans of various sizes. At the same time, the largest of them reach the riverbed and partially block the water flow. It can be assumed that thicker fans with complete blocking of the riverbed can also form in these areas.

Along the edge of the left-bank slope at a distance of 0.2...0.3 m, the presence of shallow separation cracks 1...3 cm wide was revealed.

The crumbling process will continue until the formation of a natural slope of the soils that form the plumes of talus. Depending on the intensity and amount of precipitation, melting snow, this process can take about 3-7 years. Presumably, the edge of the erosion incision will move towards the technogenically loaded territory by another 30-40 meters. Also, on the port side on the body there are wedgings of groundwater with insignificant expenses due to precipitation. (Figure 3, a-d).

At the time of writing this article, using the Google Earth Pro program, space images were taken from the LandSat-7, 8 satellites, taken in 2010 and 2021. An analysis was carried out for changes in the dimensions of the port side, comparisons were made at 3 identical points, graphical examples of these analyzes are given in the appendices (Figure 4, a-f). According to the data obtained, it can be noted that during the taken period of time the following details are noted:

- Significantly increased anthropogenic and technogenic pressure on the left side of Lake Kolsai.
- There are noticeable changes in the shape, steepness and size of the port side.

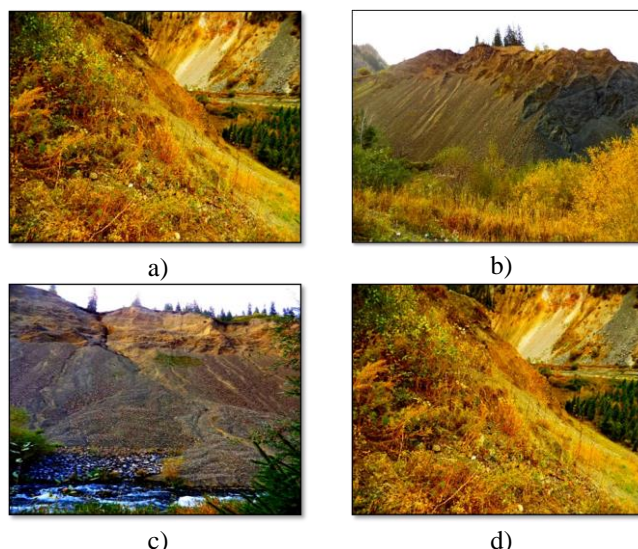


Figure 3. Photographic materials of landslide-prone areas on the territory of the State National Natural Park "Kolsai Lakes" of Almaty region (September 28-29, 2022): (a) – Portside. Slopes below the water intake 70 m; (b) – Portside. Slopes below the water intake 150 m; (c) – Portside. Water-erosion incision and alluvial fan displacing the water flow of the Kolsai River ( $\approx 200$  m below the intake); (d) – Portside. Separation crack below water intake 60 m.

Given the above changes, it can be noted that various factors, such as weather conditions, anthropogenic load, seismic activity, tourism development and other conditions strongly affect the left side of Lake Kolsai. Such rates of anthropogenic and man-made influence on this site, together with natural phenomena, can lead to landslide shifts on the left side of Lake Kolsai.

For example, in 2012, in the north of India, near the tourist city of Durbuk, a landslide occurred, which isolated the road, as a result, about 500 tourists, 150 cars, in which there were local residents on vacation, were isolated. Also, in a hilly area about 50 km north of Kuala Lumpur, a landslide leveled a campsite while people were sleeping in their tents. Among the dead were seven children.

In order to avoid such cases in the study area, it is necessary to conduct a complex of engineering geological studies, as well as to create a centralized network of sewerage and water supply and other types of work to strengthen the left side of Lake Kolsai.

*Conclusions on the stability of the left side of the valley of the river. Kolsai in the investigated area (Figures 5,6.).*

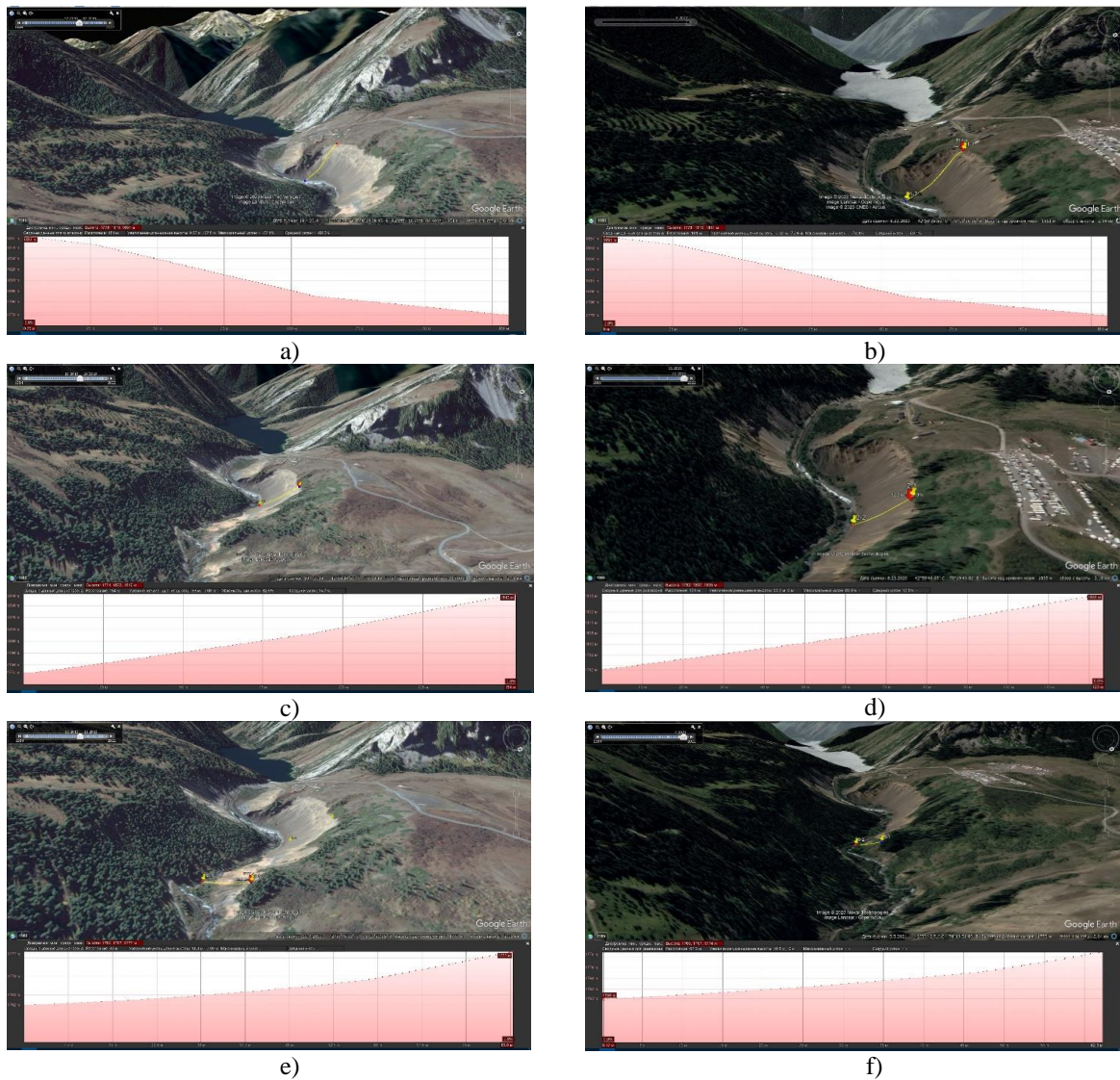
1. Slopes are in an unstable state. According to preliminary calculations, the stability coefficient varies within 0.2...0.7 (upper escarpments and scree).

2. The surface of the slopes is undocked. Vegetation was noted only on the surface of the side of the gorge behind the edge of the canyon with a thickness of 30 cm.

3. Numerous water-erosional cuts of temporary action of various scales of manifestation on the surface of slopes are revealed, the development of which deforms the structure of slopes and worsens their bearing capacity as a basis for any structures. In addition, such cuts, as a result of backward erosion, deform even the turfed surface of the blockage itself.

4. There is a constantly changing technogenic load (buildings, structures, vehicles). At the same time, many of them are located almost along the edge of the slopes of the left side of the Kolsai river valley.

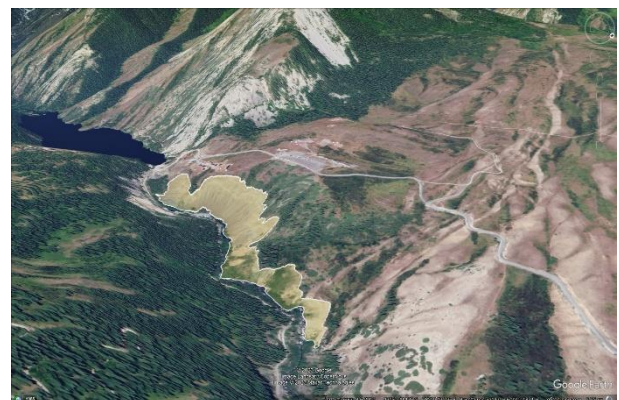
5. Uncontrolled saturation of the body of the dam with water of technogenic genesis (water supply, sewage drains) was revealed.



**Figure 4. Space images of landslide-prone areas on the territory of the State National Natural Park "Kolsai Lakes" of Almaty region: (a) – the first profile of the relief of the left side of the Kolsai River (space image of 2010); (b) – the first relief profile of the left bank of the Kolsai river (space image 2021); (c) – the second relief profile of the left side of the Kolsai river (space image of 2010); (d) – the second relief profile of the left side of the Kolsai river (space image 2021); (e) – the third relief profile of the left side of the Kolsai river (space image 2010); (f) – the third relief profile of the left side of the Kolsai river (space image 2021)**



**Figure 5. Portside (picture from UAV)**



**Figure 6. Contours of the left side of the Kolsai River. (contour perimeter  $\approx 2.55$  km contour area  $\approx 7.9$  ha)**

According to the stock materials (Tunnel spillway from Lake Kolsai. Report on the preliminary assessment of the engineering and geological conditions of the construction area. 1989), the coefficients of filtration of the soils of the body of the blockage vary within 0.12...0.79 m/day, which contributes to the uncontrolled formation of temporary local aquifers in the body of the blockage and, accordingly, reduces the bearing capacity of soils in a variety of areas, without the possibility of their localization within the territory under study [5].

The starboard side is made of gruss, pebbles, and several kurums are formed from boulders of various sizes with a maximum size of up to 2 meters. At the sole of the kurumniks there are wedgings of groundwater in the form of descending springs: the water flow rate in the upper spring is 2 liters per second, in the lower spring the flow rate is about 4 liters per second. Springs due to the lack of a stormwater net flow along the operational road. The upper part of the weathering zone consists of different age eluvial deposits. Landslide events were not detected. Possible collapses with volumes of up to 10 cubic meters and falls of single large blocks, which poses a real threat to passing tourists and vacationers.

*For reference:* Kurums are local, limited in three-dimensional space, accumulations of stone acute-angled boulders, formed in a natural way, having the appearance of a closed undivided cover on the surface of the earth.

#### 4. Conclusions

The landslide body on Lake Nizhny Kolsai belongs to the landslides of an incomplete cycle. The Kolsai river basin belongs to the 9-point seismic zone.

The entire territory of the erosion mudflow incision is subject to dangerous geological processes. The danger of soil sliding along the entire length of the erosion focus remains.

After the absorption of critical weight and with a dynamic effect on the landslide body in the erosion focus, the probability of breakage and slippage of the port side is very high, and it is also possible to activate landslide phenomena under the influence of natural factors (exposure to rains).

A high anthropogenic load is observed on the body of the landslide and on the body of the lake cofferdam, including in the mudflow incision.

As a result of the chaotic construction of buildings, structures, swimming pools, the absence of storm drains, as well as the complete absence of a sewerage system, the lack of sealed containers for wastewater and toilets increased the processes of soaking soils, the installation of additional asphalt pavements and observation platforms also does not contribute to the natural aeration of moisture in the soils. The device of such artificial structures leads to hidden flooding of territories, because the surface for evaporation of moisture decreases and the surface for artificial accumulation of moisture in the soil increases.

The organization of the tourist cluster is carried out without considering the landslide hazard and the risk of landslides and landslides, with trimming of the slopes, and also without considering the significant load and overload of the slopes.

The lake is a point tourist site of a very vulnerable nature for which a calculated and metered load is necessary.

Currently, there is a chaotic uncontrolled development of the territories of the lakes in connection with the growing interests in these objects among tourists.

The territory is built up randomly, the influx of tourists is huge, especially in the summer, hundreds of yurts and tents are being built here, not counting the already erected capital structures, which negatively affects the ecological state of the objects.

For the proper environmentally safe functioning of the Kolsai Lakes facility, it is necessary to develop a detailed program for the functioning of these facilities with the involvement of a wide range of specialists in geology, hydrogeology, ecology, biology, climatology, etc.

After the development of a detailed program, it is necessary to offer a rational schedule for visiting the sites by tourist groups and individual tourists in an environmentally dosed format.

Delivery to the lakes by special transport for the excursion the recommended daily load for visiting the lakes should not exceed 250-300 people per day.

#### *Recommendations:*

1. It is necessary to carry out engineering-geological surveys using georadar to determine the stability of the lake cofferdam and the landslide-landslide body in general for all three lakes;

2. Conduct regular surveys of the state of the lake cofferdam, landslide-landslide body, including commission. It is necessary to organize instrumental control with the installation of benchmarks and markers for the dynamics of the movement of the landslide body and erosion processes in the mudflow incision;

- on the organization of the sewerage system, pipeline lines on the principle of "pipe in a pipe" with control wells;
- on the prohibition of the construction of pools or other reservoirs on the body of a landslide;
- on the organization of storm-discharge networks.

#### References

- [1] Razrabotka programmm monitoringa i proektov estestvennogo-nauchnogo i tehniko-jekognomicheskogo obosnovanija rasshirenii territorii Zhungara Alautauskogo GNPP i GNPP «Kolsaj kolderi». Retrieved from [https://www.gov.kz/uploads/2021/5/24/4b56c9c2d57968bd86085862c9709b37\\_original.3884005](https://www.gov.kz/uploads/2021/5/24/4b56c9c2d57968bd86085862c9709b37_original.3884005)
- [2] Mukambaev, A.S., Mihajlova, N.N. (2014). 100 years after kemin catastrophe: new data about focus. *NNC RK Bulletin, (1), 104-111*
- [3] Nurmagametov, A., Mihajlova, N.N., Sadykov, A., Gapich, V.A., Vlasova, A.A., Sabitov, M.M. & Hajdarov, M.S. (1990). Bajsorunskoe zemletrjasenie 12 nojabrja 1990 g. Retrieved from <https://kndc.kz/kndc/docs/earthquakes/baisorun.pdf>
- [4] Retrieved from <https://turpogoda.ru/news.php?shownew=828>
- [5] Tunnel'nyj vodosbros iz oz. Kol'saj. (1989). *Otchjot po predvaritel'noj ocenke inzhenerno-geologicheskijh uslovij rajona stroitel'stva*

## Көлсай көліндегі қауіпті геологиялық процестер және олардың антропогендік жүктеменің әсері

М.Р. Запбаров<sup>1</sup>, М.К. Касенов<sup>2</sup>, Е.С. Ауелхан<sup>1\*</sup>, Б.Т. Сериков<sup>1</sup>, С.Н. Нурмуханбет<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Қазселденқорғау ММ, Алматы, Қазақстан

\*Корреспонденция үшін автор: [y.avelkhan@satbayev.inuiversity](mailto:y.avelkhan@satbayev.inuiversity)

**Аңдатпа.** Бұл мақалада Көлсай көлінің аумағындағы жүргізілген зерттеу беткейлік сырғыма процестерінің қауіпті, сондай-ақ қауіпті геологиялық процестерге антропогендік факторлардың әсері көрсетілген. Google Earth Pro бағдарламасын қолдана отырып, Landsat-7,8 спутниктерінен деректерді өңдеу мысалдары және ұшқышсыз ұшу аппараттарын қолдана отырып, Көлсай көлінің аумағының суреттері көрсетілген. Бұл мақаланың негізгі мақсаты – бұрын жүргізілген жұмыстардың деректерін талдау, беткейлік сырғыма процестерінің болуы мүмкін қауіпті аймақтардың жағдайын бағалау, сондай-ақ осы учаскедегі қауіпті геологиялық процестердің болуын болжау және баға беру. Зерттеу учаскесі ретінде – Солтүстік Тянь-Шаньдағы Көлсай көлінің сол жақ беткей жағалауы, Көлсай шатқалында, Күнгей мен Іле Алатауын байланыстыратын аумақ қарастырылады. Жоғарыда аталған аумақта ХІХ ғасырдың аяғында бірқатар ірі жер сілкінісі болған, бұл қоршаған ортаға және жақын маңдағы адамдарға үлкен зиян келтірген. Зерттеу барысында осы жер сілкінісінен кейін зерттеу учаскесінде беткейлік сырғыма процестерінің болу қауіпі бар қауіпті аймақтар пайда болды. Бұл мақалада Көлсай көлінің аумағындағы туристік аймақтың дамуына байланысты сол жағалаудың антропогендік жүктемеге байланысты жылдан жылға өзгеруі қарастырылады. Бұл мақалада дрон ұшу аппараттарынан жиналған және жерді қашықтықтан зондтау ғарыштық суреттер мен фотосуреттер өңделіп, түсіндіріліп, қажетті мәліметтер алынды. Сонымен қоса бұрын жүргізілген жұмыстарға талдау жасалды.

**Негізгі сөздер:** ОГП, мониторинг, LandSat, Google Earth pro, ғарыштық суреттер, ақаулар, сырғыма процестері, жер сілкінісі, сейсмология.

## Опасные геологические процессы на озере Кольсай и влияние антропогенной нагрузки на ОГП

М.Р. Запбаров<sup>1</sup>, М.К. Касенов<sup>2</sup>, Е.С. Ауелхан<sup>1\*</sup>, Б.Т. Сериков<sup>1</sup>, С.Н. Нурмуханбет<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>ГУ КазСелеЗащита, Алматы, Казахстан

\*Автор для корреспонденции: [y.avelkhan@satbayev.inuiversity](mailto:y.avelkhan@satbayev.inuiversity)

**Аннотация.** В данной статье показаны результаты исследование на территории озера Кольсай, а так же влияние антропогенных факторов возможные риски оползневых процессов и опасные геологические процессы. Показаны примеры обработки данных со спутников LandSat-7,8, с использованием программы Google Earth Pro, и снимки территории озера Кольсай с использованием беспилотных летательных аппаратов. Основная цель данной статьи – с помощью анализа данных обследовании с ранее проведенных работ, оценить состояния зон с потенциально опасным развитием склоновых процессов, а также дать прогнозные оценки рисков ОГП на данном участке. Областью исследований является левый борт озера Кольсай в северном Тянь-Шане, в ущелье Кольсай, в перемычке, соединяющей хребты Кунгей и Заилийский Алатау. В вышеуказанном участке в конце ХІХ века произошли ряд крупных землетрясения, которые причинили колоссальный вред, для окружающей среды и для людей прибрежных районов. В следствии после данных землетрясения на исследуемом участке образовались опасные зоны с потенциальным риском развития оползневых процессов. В данной статье рассматривается преимущественно левый борт озера Кольсай, который год за годом меняется, в связи с развитием туристической зоны и сильной антропогенной нагрузкой. Для данной статьи собранные космоснимки и фотоснимки с БПЛА обработаны, проинтерпретированы и извлечены необходимые данные. Сделан анализ ранее проведенных работ.

**Ключевые слова:** ОГП, мониторинг, LandSat, Google Earth pro, космоснимки, разлом, оползневые процессы, землетрясение, сейсмология.

## CONTENTS

<i>Almas N., Zhakiev N., Dyussebayev S., Aldongarov A.</i> PECULARITIES OF THE SWITCHING AND MEMORY EFFECT IN BISMUTH-DOPED RADIATION-RESISTANT GE <sub>2</sub> SB <sub>2</sub> TE <sub>5</sub> NANOSCALE FILMS.....	5
<i>Mukhambetgaliyev Ye.K., Kusainova G.D., Sharkaev S.V., Tusupbekova F.O.</i> INFLUENCE OF ALLOYING WITH TITANIUM AND MOLYBDENUM ON GRAIN SIZE HIGH STRENGTH PIPE STEEL.....	14
<i>Zhunosov A.K., [Kulinich V.I.], Zhunosova A.K.</i> ANALYSIS OF THE ELECTRICAL CHARACTERISTICS INFLUENCE OF THE CURRENT SUPPLY ON THE TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS OF THE MELTING OF FERROSILICOCHROME.....	20
<i>Rakishev B.M.</i> ABOUT THE METALLOGENY OF KAZAKHSTAN AND ITS SIGNIFICANCE FOR THE FORECAST OF MINERAL DEPOSITS.....	25
<i>Kurmankozhaev A.</i> A METHOD FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF THE PLANNED CONSUMER QUALITY OF ORES WITH CONSIDERING THE CALCULATED ACCURACY OF THEIR AVERAGE CONTENT.....	34
<i>Shoimuratov T.H., Hajitov N.Sh., Kurbanyazov S.K.</i> THE ROLE OF HYDRODYNAMIC AND STRUCTURAL-TECTONIC FACTORS IN THE FORMATION OF HYDROCARBON DEPOSITS IN THE JURASSIC SEDIMENTS OF THE BUKHARO-KHIVA REGION.....	41
<i>Zapparov M.R., Kasenov M.K., Auelkhan E.S., Serikov B.T., Nurmukhanbet S.N.</i> DANGEROUS GEOLOGICAL PROCESSES ON LAKE KOLSAI AND THE IMPACT OF ANTHROPOGENIC LOAD ON THE DGP.....	46

## МАЗМҰНЫ

<i>Алмас Н., Жакиев Н., Дюсембаев С., Алдонгаров А.</i> ВИСМУТ ҚОСПАСЫ БАР РАДИАЦИЯҒА ТӨЗІМДІ НАНОӨЛШЕМДІ GE <sub>2</sub> SB <sub>2</sub> TE <sub>5</sub> ҚАБЫҚШАЛАРДАҒЫ АУЫСУ ЖӘНЕ ЖАДЫ ЭФФЕКТІСІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ.....	5
<i>Мухамбетгалиев Е.К., Кусаинова Г.Д., Шаркаев С.В., Тусупбекова Ф.О.</i> БЕРІКТІГІ ЖОҒАРЫ ҚҰБЫР БОЛАТЫНЫҢ ТҮЙІРШІК МӨЛШЕРІНЕ ТИТАН ЖӘНЕ МОЛИБДЕНМЕН ЛЕГІРЛЕУДІҢ ӘСЕРІ.....	14
<i>Жүнісов А.К., [Кулинич В.И.], Жүнісова А.К.</i> ФЕРРОСИЛИКОХРОМДЫ БАЛҚЫТУДЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ-ЭКОНОМИКАЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ БЕРІЛЕТІН ТОКТЫҢ ЭЛЕКТРЛІК СИПАТТАМАЛАРЫНЫҢ ӘСЕРІН ТАЛДАУ .....	20
<i>Ракишев Б.М.</i> ҚАЗАҚСТАННЫҢ МЕТАЛЛОГЕНЕЗИ ЖӘНЕ ОНЫҢ ПАЙДАЛЫ ҚАЗБАЛАР КЕН ОРЫНДАРЫН БОЛЖАУ ҮШІН МАҢЫЗЫ ТУРАЛЫ.....	25
<i>Қурманқожаев А.</i> РУДАНЫҢ ЖОСПАРЛАНЫЛҒАН САПАЛЫҚ ӨНІМІНІҢ ӨЛШЕМДІК РАСТЫЛЫҒЫН ОРТА САПА ШАМАСЫ ТҮРҒЫСЫНДА АНЫҚТАУ ӘДІСІ .....	34
<i>Шоймуратов Т.Х., Хайитов Н.Ш., Курбаниязов С.К.</i> БҰХАРА-ХИВА АЙМАҒЫНЫҢ ЮРА ШӨГІНДІЛЕРІНДЕ КӨМІРСУТЕКТЕР КЕН ОРЫНДАРЫНЫҢ ҚАЛЫПТАСУЫНДАҒЫ ГИДРОДИНАМИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-ТЕКТОНИКАЛЫҚ ФАКТОРЛАРДЫҢ РӨЛІ.....	41
<i>Заппаров М.Р., Касенов М.К., Ауелхан Е.С., Сериков Б.Т., Нурмуханбет С.Н.</i> КӨЛСАЙ КӨЛІНДЕГІ ҚАУІПТІ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСТЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ АНТРОПОГЕНДІК ЖҮКТЕМЕНИҢ ӘСЕРІ .....	46

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Алмас Н., Жакиев Н., Дюсембаев С., Алдонгаров А.</i> ОСОБЕННОСТИ ЭФФЕКТА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ И ПАМЯТИ В ЛЕГИРОВАННЫХ ВИСМУТОМ РАДИАЦИОННО-СТОЙКИХ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ GE <sub>2</sub> SB <sub>2</sub> TE <sub>5</sub>	5
<i>Мухамбетгалиев Е.К., Кусаинова Г.Д., Шаркаев С.В., Тусупбекова Ф.О.</i> ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ТИТАНОМ И МОЛИБДЕНОМ НА ВЕЛИЧИНУ ЗЕРНА ВЫСОКОПРОЧНОЙ ТРУБНОЙ СТАЛИ.....	14
<i>Жунусов А.К., Кулинич В.И., Жунусова А.К.</i> АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОКОПОДВОДА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСИЛИКОХРОМ	20
<i>Ракишев Б.М.</i> О МЕТАЛЛОГЕНИИ КАЗАХСТАНА И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....	25
<i>Курманкожаев А.</i> МЕТОД ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ПЛАНИРУЕМОГО ПОТРЕБИТЕЛЬСКОГО КАЧЕСТВА РУД С УЧЕТОМ РАСЧЕТНОЙ ТОЧНОСТИ СРЕДНЕГО ИХ СОДЕРЖАНИЯ	34
<i>Шоймуратов Т.Х., Хайитов Н.Ш., Курбаниязов С.К.</i> РОЛЬ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В ФОРМИРОВАНИИ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ БУХАРО-ХИВИНСКОГО РЕГИОНА.....	41
<i>Заппаров М.Р., Касенов М.К., Ауелхан Е.С., Сериков Б.Т., Нурмуханбет С.Н.</i> ОПАСНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ОЗЕРЕ КОЛСАЙ И ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ОГП.....	46

***Учредитель:***

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева

***Регистрация:***

Министерство информации и общественного развития Республики Казахстан  
№ KZ22VPY00030188 от 15.12.2020г.

**Официальный сайт:** <https://vestnik.satbayev.university/index.php/journal/>

**Основан в августе 1994 г. Выходит 6 раз в год**

***Адрес редакции:***

г. Алматы, ул. Сатпаева,  
22 тел.: 292-63-46