

**Ақашева Жібек Қайратқызының**  
6D070800 – Мұнай және газ өндірісі мамандығы  
бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алуға арналған

**«Кеуекті ортадағы ағынды кеуекті масштабтағы  
модельдеу негізінде зерттеу»  
тақырыбындағы диссертациясына  
АҢДАТПА**

**Жұмыстың негізгі мазмұны.** Бұл жұмыс микрокомпьютерлік томография ( $\mu$ -СТ) көмегімен құрастырылған цифрлық ядролық модельдер негізінде кеуекті масштабта модельдеу арқылы кеуекті ортадағы кеуекті ортаның және сұйықтық ағынының сипаттамаларын кеуекті масштабта анықтауға арналған. абсолютті өткізгіштіктің карбонатты өзек үлгілері үшін кеуекті ортаның басқа сипаттамаларына тәуелділігі.

**Шешілетін ғылыми немесе ғылыми-технологиялық мәселенің (тапсырманың) қазіргі жағдайын бағалау.** Қазіргі уақытта кеуекті ортадағы сұйықтықты сүзу процесі бүкіл әлем зерттеушілерінің қызығушылығын арттыруда, өйткені кеуекті ортадағы сұйықтықтың фильтрациялық ағындары табиғатта және технологияда кең таралған. Шетелде тау жыныстарының сандық физикасы сияқты бағыт динамикалық түрде дамып келеді, бұл тау жыныстарының сипаттамаларын анықтауға және кеуек масштабында сұйықтық ағынының сипаттамаларын болжауға мүмкіндік береді. Екі жалпы тәсіл бар: тікелей сандық модельдеу және кеуекті желілік модельдеу. Дегенмен, Қазақстан территориясында осы уақытта уақыт пен қаржылық шығындар бойынша еңбекті көп қажет ететін және ресурсты көп қажет ететін болса да, негізінен кеуекті ортаның сипаттамаларын анықтау үшін стандартты зертханалық сынақтар қолданылады. Көптеген жұмыстар бүкіл әлемде сұйық және газ механикасының өзекті мәселелеріне арналған, сонымен бірге кеуекті ортадағы сұйықтық ағынын кеуекті масштабта модельдеу саласындағы зерттеулер кеуек шкаласы үшін жаңа бағыт болып табылады. Қазақстан Республикасындағы зерттеулер.

Кеуекті ортаның құрылымын бұзбай зерттеу үшін  $\mu$ -КТ қолдануға болады. Қазақстанда өзек үлгілерін зерттеуге болатын рентген томографиясы тек «ҚазНИПИмұнайгаз» ЖШС зертханасында, Ақтау қ. Бұл зертханадағы рентгендік томографияның рұқсаты кеуектер масштабында жоғары сапалы зерттеулерге мүмкіндік бермейді. Осылайша, рентгендік томографияның Қазақстанда қолданылуы шектеулі және қолдану аясы шектеулі.

Тау жыныстарын қышқылмен өңдеуге байланысты кеуектер құрылымының өзгеруін зерттеу карбонатты түзілімдерден көмірсутектерді өндіруді қарқындату және кейіннен сақтау үшін сулы горизонттарға  $\text{CO}_2$  айдау жағдайында өзекті мәселе болып табылады. Мұнай берімділігін арттыру үшін мұнайлы қабаттарға аз мөлшерде қышқыл айдау арқылы абсолютті өткізгіштікті барынша арттыру үшін зерттеулер қажет. Карбонатты жыныстар

үшін кеуекті ортаның сипаттамаларының тәуелділік заңдылықтары мұнай және мұнай сервистік компанияларда гидродинамикалық модельдеу үшін, сондай-ақ Министрліктің Мұнай өндіру және өндіру департаменті мұнай мен газдың геологиялық қорларын бағалау үшін пайдаланылуы мүмкін. Қазақстан Республикасы.

**Тақырыпты дамыту үшін негіз және бастапқы деректер.** Дәстүрлі түрде кеуекті ортаның және сұйықтық ағынының сипаттамалары арнайы зертханалық жабдықты қолдану арқылы тәжірибелік әдістермен анықталады, бірақ бұл айтарлықтай уақытты (3-5 айға дейін) және қаржылық ресурстарды қажет етеді. Өлшеу құралдарының дұрыс еместігі, дұрыс емес эксперимент шарттары, деректерді дұрыс өңдеу, зертханалық тәжірибелер кезінде кездейсоқ және адам қателері дұрыс емес нәтижелерге әкелуі мүмкін. Компьютерлік модельдеуді пайдалану жұмсалған уақыт ресурстарының көлемін азайтады, сонымен бірге модельдеу аз шығынды және ресурстарды көп қажет ететін әдіс болып табылады.

Өткізгіштіктің кеуекті ортаның басқа сипаттамаларына тәуелділігіне арналған көптеген зерттеулер бар, бірақ олар идеалды кеуекті орталар үшін есептелгендіктен, олар карбонатты жыныстарға әрқашан қолданыла бермейді.

Қазақстанда  $\mu$ -КТ аппаратурасы тек Ақтау зертханасында бар, бірақ тәжірибе кезеңінде ол істен шыққан. Өзекті үлгілерді тұз қышқылымен қышқылмен өңдеуге дейін және одан кейін медициналық томография (625-микрон рұқсаты) арқылы бір тәжірибе жүргізілді. Оның ажыратымдылығы дәрекі болғандықтан, алынған деректер кеуектік ортаның және сұйықтық ағынының сипаттамаларын анықтау үшін кеуек құрылымын 3D форматында көруге және кеуекті масштабта модельдеуді жүргізуге, сонымен қатар абсолютті өткізгіштікке тәуелділік заңдылықтарын анықтауға мүмкіндік бермеді. кеуекті ортаның басқа сипаттамалары туралы. Сондықтан  $\mu$ -КТ-ны шетелде Қазан федералды университетінің рентген-томографиялық зертханасында жүргізу туралы шешім қабылданды.

Бұл жұмыста сандық модельді құру және кеуекті масштабты модельдеу үшін  $\mu$ -СТ көмегімен 8 карбонат өзегі үлгілері сканерленді. Карбонатты өзек үлгілерін тұз қышқылымен қышқылмен өңдеуден кейін кеуекті орта мен сұйықтық ағынының сипаттамаларының өзгеруі зерттелді, абсолютті өткізгіштіктің кеуекті ортаның басқа сипаттамаларына тәуелділігі зерттелді.

**Осы зерттеу жұмысының қажеттілігін негіздеу.** Қазақстан Республикасында қалпына келтіру қиын қорлардың басым бөлігі карбонатты қабаттары бар кен орындарында шоғырланған. Ұңғыма ұңғымаларын қышқылмен өңдеу сияқты жетілдірілген мұнай алу әдісін жетілдіру үшін ең жоғары мұнай беру коэффициентіне қол жеткізу үшін қышқылдық құрамдардың карбонатты жыныстарға әсерін (айдау жылдамдығы және қышқыл концентрациясы) зерттеу қажет. Карбонатты жыныстар үшін арнайы кеуекті ортаның басқа сипаттамаларына абсолютті өткізгіштіктің тәуелділігін анықтау қажет. Идеал кеуекті орталар үшін абсолютті өткізгіштіктің кеуектілікке бар тәуелділіктері анықталды, бұл нақты карбонатты

жыныстардың үлгілері үшін сенімді нәтижелерді алуға мүмкіндік бермейді. Кеукті ортадағы сұйықтық ағынын кеукті масштабта модельдеуді қолдану арқылы зерттеу кеукті ортаның сипаттамаларын (абсолютті өткізгіштік, кеуктілік, беттің меншікті ауданы, гидравликалық бұралу, кеук радиусы, кеук радиусы, координация саны) және сұйықтық ағыны (салыстырмалы фазалық өткізгіштіктер) алуға мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта тау жыныстарының кеукті құрылымын 3D форматында егжей-тегжейлі зерттеу және тау жыныстарының сипаттамаларын анықтау үшін есептеулер жүргізу үшін рентген  $\mu$ -КТ кең таралған.  $\mu$ -СТ артықшылықтарының бірі үлгінің кескіндерін уақыттың әртүрлі нүктелерінде жазу арқылы кеукті ортадағы динамикалық процестерді визуализациялау мүмкіндігі болып табылады. Бұл әдіс тау жыныстары үшін бұзылмайды және сонымен бірге салыстырмалы түрде арзан. Кеукті масштабты модельдеу арқылы үлгілердің макроскопиялық сипаттамалары анықталады, оларды кейіннен ұңғыма немесе далалық талдау үшін пайдалануға болады. Сонымен қатар, табиғи мұнай мен газды тиімді пайдалану үшін стратегиялық маңызы бар бір тау жынысы үлгісінде сұйықтық ағынының процестерінің бірнеше модельдеуін (мысалы, полимерді тасу, қышқылмен өңдеу, беттік белсенді затты айдау және т.б.) жүргізу мүмкін болады. ресурстар.

$\mu$ -СТ пайдалану мұнай және мұнай сервисі компанияларына негізгі үлгілердің цифрлық деректер базасын құруға мүмкіндік береді, бұл кейінгі жұмыс үшін қол жеткізу процесін айтарлықтай жеңілдетеді.  $\mu$ -СТ көмегімен алынған негізгі үлгілердің цифрлық үлгілері бойынша модельдеу Қазақстанда алғаш рет жүргізіліп жатқанын атап өту маңызды.

Осылайша, қазіргі уақытта Қазақстан Республикасында және бүкіл әлемде кеукті ортада жүретін процестерді оңтайландыру үшін кеукті ортадағы сұйықтық ағынын зерттеу дәл кеукті шкала бойынша қажет. Басқаша айтқанда, кеукті орталар мен сұйықтық ағынының сипаттамаларын анықтаудың балама әдісін табу қажет, ол сенімді және сонымен бірге уақыт, қаржы және ресурстар бойынша тиімді болады.

**Жоспарланған ғылыми-техникалық даму деңгейі туралы ақпарат.** Осы диссертация аясында алынған ғылыми нәтижелер ресурсты көп қажет ететін зертханалық тәжірибелер жүргізбей-ақ кеукті орта мен сұйықтық ағынының сипаттамаларын кеукті масштабта модельдеу негізінде анықтауға мүмкіндік береді. Карбонатты жыныстар үшін абсолютті өткізгіштіктің кеукті ортаның басқа сипаттамаларына тәуелділігінің заңдылықтары белгіленеді.

**Патенттік зерттеулер және олардан қорытындылар.** Осы диссертация аясында карбонатты өзек үлгісінің сипаттамаларын анықтаудың баламалы әдісіне авторлық куәлік алу жоспарлануда.

**Диссертацияның метрологиялық қамтамасыз етілуі туралы мәліметтер.** Зертханалық зерттеулер Қазан федералды университетінің рентгендік микрокомпьютерлік томографиялық зертханасының жабдығын

пайдалана отырып жүргізілді. Жабдық жыл сайын тексеруден және калибрлеуден өтеді.

**Сәйкестік.** Абсолютті және салыстырмалы фазалық өткізгіштіктер мұнай және газ кен орындарын игеруде, одан әрі сақтау үшін қабаттарға  $\text{CO}_2$  айдауда, сонымен қатар жер асты сулы горизонттарында ластаушы заттардың миграциясында маңызды рөл атқарады. Үлгілердің абсолютті өткізгіштігі мен басқа қасиеттері арасында нақты байланыстар қажет. Кеуектілікке, кеуек бетінің меншікті ауданына және гидравликалық бұралуға абсолютті өткізгіштікке қатысты Козены-Карман теңдеуі кеңінен қолданылатын қатынас болып табылады. Дегенмен, Козены-Карман теңдеуі көптеген нақты тау жыныстары үлгілері үшін абсолютті өткізгіштіктің қате мәндерін болжайды, өйткені ол бірдей капиллярлық түтіктердің идеалдандырылған кеуекті ортасы үшін эмпирикалық жолмен алынған, сондықтан абсолютті өткізгіштіктің тәуелділігін зерттеу қажеттілігі туындайды. кең ауқымды үлгілер үшін қолданылатын басқа сипаттар.

Тау жыныстарының үлгілерінің микроқұрылымын өзгерту кеуек кеңістігіндегі сұйықтықтардың бірлескен ағынына күшті әсер етуі мүмкін. Мұнай және газ өндірісінің тұрақты дамуы және  $\text{CO}_2$  алу мен сақтаудың тиімді әдістерінің қажеттілігі жағдайында қышқыл ерітінділермен әрекеттесу кезінде карбонат үлгілерінің кеуекті құрылымын зерттеу ерекше өзектілікке ие болады. Карбонатты таужыныстар мұнай өнеркәсібінің құрамдас бөлігі болып қана қоймайды, сонымен қатар олар көмірқышқыл газын ұстап, сақтау арқылы экологиялық тұрақтылыққа үлес қоса алады.

**Диссертацияның ғылыми жаңалығы** - рентгендік томография және кеуекті масштабты модельдеу көмегімен карбонат үлгілерін қышқылмен өңдеудің бір және екі фазалы сұйықтықтардың ағындық сипаттамаларына әсер ету заңдылығын анықтауда. Қазақстанда мұндай зерттеулердің аналогтары жоқ.

**Бұл жұмыстың басқа зерттеу жұмыстарымен байланысы.** Бұл диссертация ҚР Білім және ғылым министрлігінің «Карбонатты кен үлгісінің еру режимдерінің ол арқылы екі фазалы сұйық ағынының сипаттамаларына әсерін кеуек масштабында зерттеу» ғылыми жобалары аясында жүзеге асырылды. Қазақстан Республикасы «Табиғи ресурстарды, оның ішінде су ресурстарын, геологияны, жаңа материалдар мен технологияларды, қауіпсіз өнімдер мен құрылымдарды ұтымды пайдалану» басымдығы бойынша «Геология және пайдалы қазбалардың кен орындарын игеру» қосалқы басымдығы бойынша ЖТН № АР08052055 (2020-2022 ж.) және Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің «Минералды және көмірсутекті шикізатты геология, өндіру және өңдеу» басымдығы бойынша «Машиналық оқыту негізінде кеуек масштабында жыныстардың еру режимдерін ескере отырып, кеуекті ортаның сипаттамаларын болжау» материалдар, жаңа материалдар, технологиялар, қауіпсіз бұйымдар мен құрылымдар», «Геология және пайдалы қазбалардың кен орындарын игеру» қосалқы басымдығы бойынша, ЖТН № АР09058419 (2021-2023).

**Диссертациялық жұмыстың мақсаты** – қышқылдық ерітінділермен әрекеттесу нәтижесіндегі карбонат үлгілерінің кеуек құрылымының өзгеруінің бір және екі фазалы сұйықтықтардың ағыс сипаттамаларына әсерін, сонымен қатар үлгілердің геометриялық параметрлеріне әсерін зерттеу.

Бұл диссертацияның **тақырыбы** кеуекті ортадағы бір және екі фазалы сұйықтық ағынының сипаттамалары және үлгілердің геометриялық параметрлері болып табылады.

Бұл диссертацияның **зерттеу нысаны** карбонатты өзек үлгілері болып табылады.

**Зерттеу мақсаттары:**

1. Дүние жүзіндегі және Қазақстандағы зерттелетін тақырыптың қазіргі жағдайына шолу жасап, талдау жасау;

2. Идеалдандырылған кеуекті ортадағы бір және екі фазалы сұйықтықтардың ағынын модельдеу;

3. Зертханалық тәжірибелерді жүргізу тәртібін әзірлеу және қышқыл ерітінділерін карбонатты өзек үлгілеріне айдау және қышқылмен өңдеуге дейін және одан кейін рентгендік томографпен сканерлеу бойынша тәжірибелер сериясын жүргізу;

4. Сынамалардың қышқылмен өңдеуге дейін және одан кейінгі кескіндерін статистикалық қайта құруды жүргізу, сондай-ақ олардың 3D цифрлық үлгілерін жасау;

5. Статистикалық кескінді қайта құру негізінде үлгілердің сипаттамаларын есептеу;

6. Кеуекті масштабта модельдеу арқылы абсолютті өткізгіштік пен гидравликалық бұралуды есептеу;

7. Кеуекті масштабтағы модельдеу көмегімен екі фазалы сұйықтықтың ағуы кезінде салыстырмалы фазалық өткізгіштіктерді есептеңіз.

**Ғылыми гипотеза.** Кеуекті масштабты модельдеуді қолдана отырып, сұйық және кеуекті орта ағынының сипаттамаларын анықтау үшін физикалық тәжірибелерді ауыстыру мақсаты, егер  $\mu$ -СТ және кеуекті масштабты модельдеуді қолдану арқылы сұйықтық пен кеуекті орта ағынының келесі сипаттамалары: абсолютті өткізгіштік, кеуектілік, кеуектерді бөлу өлшемі, кеуек радиусы, гидравликалық бұралу, меншікті бет ауданы, салыстырмалы фазалық өткізгіштігі бойынша жеткілікті дәлдікпен анықталады.

Жұмыстың **практикалық маңыздылығы** абсолютті өткізгіштіктің карбонатты жыныстар үшін кеуекті ортаның басқа сипаттамаларына тәуелділігін анықтауда жатыр, өйткені бар тәуелділіктердің көпшілігі нақты керн үлгілерін пайдалану негізінде емес, идеалды кеуекті орталар үшін алынған. Кеуекті орта мен сұйықтық ағынының сипаттамаларын анықтаудың альтернативті әдісі арнайы зертханалық жабдықты пайдалана отырып, уақытты қажет ететін және ресурстарды қажет ететін физикалық тәжірибелерді кем дегенде ішінара ауыстырады. Алынған абсолютті өткізгіштіктің карбонатты жыныстар үшін кеуекті ортаның басқа сипаттамаларына тәуелділіктерін карбонатты таужыныстары бар кен

орындарындағы мұнайды игеру мен өндіруді болжау үшін пайдалануға болады.

**Ғылыми-зерттеу жұмыстарын немесе жалпы эксперименттік зерттеу жұмыстарын орындаудағы тапсырмалардың орны.** Зерттеу барысында әлемде және Қазақстанда зерттелетін тақырыптың қазіргі жағдайына шолу және талдау жүргізіледі, идеалдандырылған кеуекті ортадағы бір және екі фазалы сұйықтықтардың ағынын модельдеу жүргізіледі, зертханалық тәжірибелерді жүргізу тәртібі әзірленеді және үлгілердің карбонатты өзегіне қышқыл ерітінділерін айдау бойынша тәжірибелер жүргізіледі, рентген томографы арқылы сканерлеу жүргізіледі, қышқылмен өңдеуге дейін және одан кейін карбонат өзегі үлгілерінің суреттерін статистикалық қайта құру. жүзеге асырылады, олардың 3D цифрлық үлгілері жасалады; келесі есептеулер жүргізіледі: кескіндерді статистикалық қайта құру негізінде үлгі сипаттамаларын есептеу, абсолютті өткізгіштік пен гидравликалық бұралуды, екі фазалы сұйықтық ағыны кезінде салыстырмалы фазалық өткізгіштіктерді есептеу.

**Әдістемелік негізі.** Осы диссертацияның шеңберінде алға қойылған мақсаттарға жету үшін мыналар пайдаланылды: OpenFoam®, бір және екі фазалы сұйықтықтардың ағынын модельдеуге арналған құрал; карбонатты өзек үлгілеріне физикалық эксперименттер жүргізу әдістері/әдістері; үлгілерді олардың томографиялық суреттері негізінде статистикалық қайта құру; бір және екі фазалы сұйықтық ағынын модельдеу құралдары Avizo® және PnFlow®; аналитикалық әдістер. Сондықтан диссертацияда қолданылатын әдістер сипаттамалық және эксперименттік болып табылады.

#### **Қорғаныс ережелері:**

1. Карбонат өзегі үлгілерінің абсолютті өткізгіштігінің ең үлкен артуы 18% тұз қышқылы ерітіндісін 4 және 8 мл/мин жылдамдықпен ерітінді ағынының минималды жылдамдығымен айдау арқылы қол жеткізіледі;

2. Карбонатты өзек үлгілерінің байланысты және толық кеуектіліктері арасындағы байланыс параболалық заңға бағынады;

3. Карбонатты өзек үлгілерін қышқылмен өңдеу абсолютті өткізгіштік пен кеуектілік арасындағы байланысты өзгертеді, бұл ретте қуат көрсеткіші Козены-Карман теңдеуіндегі осы көрсеткіштің мәнінен айтарлықтай асып түседі;

4. Карбонатты керн үлгілерінің абсолютті өткізгіштігінің жоғарылауымен қалдық мұнай қанықтылығы төмендейді.

**Автордың жеке үлесі** диссертациялық жұмыстың тақырыбы бойынша әдебиеттерге шолу жасау және талдау, алға қойылған мақсаттарға жету үшін тапсырмаларды орындау, кеуекті масштабты модельдеу,  $\mu$ -КТ сканерлеу, зертханалық эксперименттер сериясы, томографиялық деректерді өңдеуден тұрады, үлгілердің үш өлшемді цифрлық модельдер құру, алынған нәтижелерді өңдеу және талдау, алынған нәтижелерді түсіндіру және мақалалар мен монографиялар жазу.

**Жұмысты апробациялау.** Диссертациялық материалдар халықаралық конференцияларда ұсынылған және талқыланған:

- «Сәтбаев оқулары – 2019» халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясы (Алматы, Қазақстан, 2019 ж.);

- «Баламалы энергия көздері, материалдар және технологиялар» 2-ші халықаралық ғылыми конференция (AESMT'19), (София, Болгария, 2019);

- «Наноматериалдар және озық энергия сақтау жүйелері» 7-ші халықаралық конференциясы (INESS-2019), (Алматы, Қазақстан, 2019);

- «Сәтбаев оқулары – 2020» халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясы (Алматы, Қазақстан, 2020);

- «Ғылым, технология және білімдегі есептеу және ақпараттық технологиялар» халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция (CITech-2020), (Алматы, Қазақстан, 2020);

- SPE 2020 виртуалды жыл сайынғы Каспий техникалық конференциясы (онлайн, 2020).

**Жарияланымдар.** Зерттеудің негізгі нәтижелері Scopus/Web of Science деректер базасына енгізілген халықаралық, рецензияланған журналдардағы 1 мақалада, Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім сапасын қамтамасыз ету комитеті бекіткен тізімдегі жарияланымдардағы 5 мақалада, халықаралық ғылыми-практикалық конференцияларда 6 баяндама, басқа ғылыми журналдарда 6 мақалада, 1 авторлық куәлікте және 1 монографияда берілген.

**Диссертацияның көлемі мен құрылымы.** Диссертация кіріспеден, төрт бөлімнен, қорытындыдан, 185 тақырыпты қамтитын пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және 5 қосымшадан тұрады. Жұмыс машинада басылған мәтіннің 98 бетінде ұсынылған, негізгі бөлімде 46 сурет пен 18 кестеден, сонымен қатар қосымшада 26 сурет пен 1 кестеден тұрады.

**Осы диссертацияның негізгі қорытындылары.** Сұйықтық ағыны мен кеуекті ортаның сипаттамаларын зерттеу үшін кеуекті масштабтағы модельдеуді қолдану саласындағы шетелдік және отандық ғылыми әдебиеттер талданды. Қышқыл ерітінділерін айдауға арналған 8 карбонатты өзек үлгісінде физикалық эксперименттер жүргізілді, олар өзек үлгілерінің цифрлық үлгілерін құру үшін микрокомпьютерлік томография көмегімен тау жынысын қышқылмен өндеуден бұрын және кейін сканерленді. Карбонатты өзек үлгілерінің құрастырылған цифрлық үлгілері негізінде қышқылмен өндеуге дейінгі және одан кейінгі кеуекті орта мен сұйықтық ағынының сипаттамалары анықталды.

Карбонатты өзек үлгілері үшін қышқылмен өндеуге дейін және одан кейінгі кеуекті ортаның басқа сипаттамаларына абсолютті өткізгіштіктің тәуелділік үлгісі анықталды. HCl инъекциясына дейін және одан кейін біртекті және біртекті емес үлгілердің абсолютті өткізгіштігі  $k$  кеуектілігімен және орташа кеуек радиусымен жақсы корреляцияға ие екендігі анықталды. Бұл маңызды артықшылыққа ие, өйткені орташа кеуек радиусы мен ортаның кеуектілігін анықтау оңай.

Есептелген бұралулар  $\tau$  жынысты қышқылдандырғанға дейін және одан кейін кеуектілікте айтарлықтай тұрақты болып қалатын, бар эмпирикалық үлгілерден алынған бұралулармен нашар корреляцияға ие екендігі көрсетілген. Біртекті және гетерогенді үлгілер үшін орташа бұралу мәндері  $\sim 1,9$ , ал сынған үлгілер үшін  $\sim 1,8$  болды.

Абсолютті өткізгіштік  $k$ , гидравликалық бұралу  $\tau$  және меншікті бетінің ауданы  $S$  арасындағы байланыс  $k \sim \tau^{-\alpha}$  және  $k \sim S^{-\beta}$  қуат заңдарымен сипатталады, мұндағы  $\alpha = 7 - 42$  және  $\beta = 5 - 18$ , олардан әлдеқайда үлкен. бұлар Козены қалта теңдеуінде ( $\alpha = \beta = 2$ ).  $\beta$ -мен салыстырғанда  $\alpha$ -ның салыстырмалы түрде жоғары мәндері абсолютті өткізгіштігін өткізгіштігін бағалауда  $\tau$  -тің  $S$ -мен салыстырғанда үлкен әсер ететінін көрсетеді.

Нәтижелер көрсеткендей, байланысты және жалпы кеуектілік арасындағы байланыс қышқылмен өңдеуге дейін және одан кейін  $\phi_{con} = a\phi^2 + b\phi + c$  параболалық теңдеуімен сенімдірек сипатталған. Тау жыныстарын қышқылмен өңдеу нәтижесінде біртекті және біртекті емес үлгілер үшін кеуектер арасындағы байланыстың жоғарылайтыны көрсетілді, бұл кеуектіліктің перколяция шегінің төмендеуінен көрінеді.

Нәтижелер барлық қосалқы үлгілерде тау жынысын қышқылмен өңдеу нәтижесінде кішірек кеуектер санының қарқынды төмендеуін және үлкен кеуектер санының жоғарылауын көрсетті. Сонымен қатар, тау жыныстарын қышқылмен өңдеу есебінен кеуектер радиусының таралу диапазонының кеуектердің ұлғаюына қарай кеңейіп байқалады, бұл жаңа үлкен кеуектердің пайда болуын білдіреді, дегенмен іс жүзінде жаңа шағын кеуектер пайда болды. Орташа кеуек радиусының ұлғаюы 7-үлгі үшін 6,5-17% және 10-үлгі үшін 6,6-9% аралығында болды.

Кеуектілік пен абсолютті өткізгіштіктің жоғарылауы үлгінің қосалқы үлгілеріне қарағанда 18% тұз қышқылы ерітіндісін 2 мл/мин жылдамдықпен айдаған кезде 10 үлгінің қосалқы үлгілері үшін (24%; 201%) орта есеппен жоғары. 12% тұз қышқылы ерітіндісін 8 мл/мин жылдамдықпен айдау кезінде 7 (13%; 127%), дегенмен 10-1-ден 10-5-ке дейінгі қосалқы үлгілер үшін орташа бастапқы кеуектілік пен абсолютті өткізгіштік айтарлықтай аз. 7-1-ден 7-5-ке дейінгі қосалқы үлгілер. 7 үлгінің қосалқы үлгілері үшін кеуектілік пен абсолютті өткізгіштіктің жоғарылауы тиісінше 1-33% және 44-331% құрады, ал 10 үлгінің қосалқы үлгілері үшін бұл көрсеткіштер тиісінше 18-30% және 114-368% құрады.

Ерітіндідегі тұз қышқылының концентрациясының және ерітіндіні үлгілерге айдау жылдамдығының салыстырмалы фазалық өткізгіштігіе әсері байқалады. Осылайша, кеуектілігі мен абсолютті өткізгіштігінің шамалы жоғарылауымен ерекшеленетін 7-2 және 7-3 қосалқы үлгілерінің салыстырмалы фазалық өткізгіштігі тау жынысын қышқылмен өңдеу нәтижесінде айтарлықтай өсті. 7-3 қосалқы үлгіде қышқылмен өңдеуден кейін судың салыстырмалы фазалық өткізгіштігінің күшті жоғарылауымен сипатталатын су-ылғалдан араласқа дейін суланғыштықтың өзгеруі байқалды. Тұз қышқылының концентрлі ерітіндісі төмен жылдамдықпен айдалатын 10

үлгінің барлық қосалқы үлгілері үшін мұнайдың салыстырмалы фазалық өткізгіштігі жоғарылады.

Көптеген қосалқы үлгілерде қышқылмен өңдеу нәтижесінде қалдық майдың қанығуы 20-дан 46%-ға дейін төмендесе, кейбіреулерінде (7-17%-ға) жоғарылады. Барлық қосалқы үлгілер үшін қалдық сумен қанығу 25-60%-ға төмендеді. Мұнай мен судың қалдық қанығуына абсолютті өткізгіштіктің жоғарылауының әсері анық байқалады – абсолютті өткізгіштіктің жоғарылауымен қалдық қанығу тез төмендейді.

#### **Диссертациялық зерттеу нәтижелері бойынша қысқаша қорытындылар.**

- Тау жыныстарын қышқылмен өңдеу кеуек өлшемдерінің таралуын айтарлықтай өзгертті.

- Табиғи жарықтардың болуы абсолютті өткізгіштіктің үлгілердің басқа сипаттамаларына тәуелділігіне айтарлықтай әсер етеді. Абсолютті өткізгіштік, гидравликалық бұралу және меншікті бет ауданы арасындағы байланыс қуат заңдарымен сипатталады. Байланысты және жалпы кеуектіктер арасындағы құрастырылған заңдылық перколяцияның кеуектілік шегін табуға мүмкіндік берді.

- Тау жыныстарын қышқылмен өңдеу нәтижесінде екі үлгінің де барлық қосалқы үлгілеріндегі мұнай мен судың қалдық қанығулары айтарлықтай өзгерді.

- Бір және екі фазалы сұйықтықтардың ағыс сипаттамаларын анықтаудың ұсынылып отырған альтернативті әдісі сенімді нәтижелерді алуға мүмкіндік береді.

- Микрокомпьютерлік томографияны қолдану мамандандырылған зертханалық жабдықты қолданбай-ақ кеуекті шкала бойынша әрі қарай модельдеу және кеуекті ортаның сипаттамаларын анықтау үшін карбонатты өзек үлгілерінің цифрлық үлгілерін құруда тиімді.

- Кеуекті ортаның басқа сипаттамаларына абсолютті өткізгіштіктің табылған тәуелділіктерін CO<sub>2</sub> көму есебінде және карбонатты жыныстары бар шөгінділерді гидродинамикалық модельдеуде сәтті қолдануға болады.

**Берілген есептерді шешудің толықтығын бағалау.** Берілген тапсырмалар толық көлемде орындалды.

**Нәтижелерді арнайы пайдалану үшін ұсыныстар мен фондық деректер.** Абсолютті өткізгіштіктің карбонатты жыныстар үшін кеуекті ортаның басқа сипаттамаларына тәуелділігін мұнай және мұнай сервистік компаниялар гидродинамикалық модельдеу үшін, сондай-ақ Министрліктің Мұнай өңдеу және өндіру департаменті мұнай мен газдың геологиялық қорларын бағалау үшін пайдаланылуы мүмкін. Қазақстан Республикасы. Алынған нәтижелерді университеттерде оқу материалдары түрінде де қолдануға болады. Микрокомпьютерлік томографиямен біріктірілген кеуекті масштабты модельдеу кеуекті орта мен сұйықтық ағынын сипаттайтын стандартты зертханалық тәжірибелерге балама бола алады.

**Іске асырудың техникалық-экономикалық тиімділігін бағалау.** Алынған абсолютті өткізгіштіктің карбонатты жыныстар үшін кеуекті ортаның басқа сипаттамаларына тәуелділігі гидродинамикалық модельдеудің сенімді нәтижелерін алуға мүмкіндік береді. Сұйықтық ағынының сипаттамаларын анықтаудың балама әдісі зертханалық зерттеулермен салыстырғанда уақыт пен қаржылық ресурстарды қысқартуға көмектеседі.

**Атқарылған жұмыстың ғылыми деңгейін осы саладағы үздік жетістіктермен салыстыра отырып бағалау.** Микрокомпьютерлік томографияның көмегімен кеуекті орта мен сұйықтық ағынының сипаттамаларын кеуекті масштабта зерттеу Қазақстанда алғаш рет жүргізіліп жатқандықтан, бұл зерттеудің өзектілігі жоғары. Абсолюттік өткізгіштіктің кеуекті ортаның басқа сипаттамаларына тәуелділігін зерттеудің алынған нәтижелері оларды қабаттың карбонатты типті кен орындарын гидродинамикалық модельдеуде қолдануға мүмкіндік береді.

Автор ғылыми жетекшісі ф.ғ.к.-ға алғысын білдіреді. Асилбеков Б.К., шетел жетекшісі, доцент Панфилова И.В. және Ph.D. Али Касеминежад Раейниге диссертациямен жұмыс кезінде құнды кеңестер мен пікірлер үшін.