ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Қ. Тұрысов атындағы геология және мұнай-газ ісі институты

Мұнай инженериясының кафедрасы

Тақырыбы: " Төмен минерализацияланған су айдау тәсілінің Қазақстан кенорындарында қолдану тиімділігін бағалау "

Дипломдық жобаға

ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

5В070800-Мұнай-газ ісі

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Қ. Тұрысов атындағы геология және мұнай-газ ісі институты

Мұнай инженериясының кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
Кафедра меңгерушісі
_____
М. К. Сыздыков
«17» 05 2019ж.

Дипломдық жобаға
ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА

Тақырыбы: “ Төмен минерализацияланған су айдау тәсілінің Қазақстан кенорындарында қолдану тиімділігін бағалау ”

5В070800-Мұнай-газ ісі

Орындаған:
А. С. Нұрмұхамбетова
С. М. Салыкова

Ғылыми жетекші:
Msc., Лектор
А. І. Нүсіпқожаев

_____

«17» 05 2019ж.

Алматы 2019

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Қ. Тұрысов атындағы геология және мұнай-газ ісі институты

Мұнай инженериясының кафедрасы

5В070800-Мұнай-газ ісі

БЕКІТЕМІН
Кафедра меңгерушісі
_____
М. К. Сыздыков
«15» 01 2019ж.

Дипломдық жоба орындауға
ТАПСЫРМА

Білім алушылар: Айнагүл Нұрмұхамбетова Серікқызы,

Сания Салыкова Муратовна

Тақырыбы: “ Төмен минерализацияланған су айдау тәсілінің Қазақстан кенорындарында қолдану тиімділігін бағалау ”

Университет ректорының *"17" қазан 2018 ж. № 1167-б* бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі: *«6» мамыр 2019 ж.*

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:
а) Төмен минерализацияланған су айдау технологиясына шолу
ә) МТС терригенді мен карбонатты коллекторларда қолдану және оларды салыстырмалы түрде талдау
б) Минерализациясы төмен суды айдаудың қолдану критерийлері (шарттары)

в) Мұнайды ығыстырудың негізгі механизмін есептеу

г) Экономикалық тиімділікті есептеу

ғ) МТС айдаудың басқа да әдістермен қолданылуы

Сызбалық материалдар тізімі : мұнай бергіштікті арттыру әдістері, негізгі механизмдердің әсері, құмтас, карбонатты тау жыныстарындағы негізгі су айдау эксперименттерінің қорытындысы, мұнайды ығыстырудың негізгі механизмдерінің диаграммалары, экономикалық көрсеткіштер, табыс үлестерінің диаграммасы

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: *54 атаудан*

Дипломдық жобаны (жұмысты) дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Төмен минерализацияланған су айдау технологиясына шолу	18.02.19 – 10.03.19	
МТС терригенді коллекторларда қолдану	11.03.19 – 17.03.19	
Карбонатты жыныстарда МТС қолдану	18.03.19 – 24.03.19	
Терригенді және карбонатты қабаттарға минерализациясы төмен суды айдауды салыстырмалы түрде талдау	25.03.19 – 31.03.19	
Минерализациясы төмен суды айдаудың қолдану критерийлері (шарттары)	01.04.19 – 07.04.19	
Мұнайды ығыстырудың негізгі механизмін есептеу	08.04.19 – 14.04.19	
Экономикалық тиімділікті есептеу	15.04.19 – 21.04.19	
МТС айдаудың басқа да әдістермен қолданылуы	22.04.19 – 30.04.19	

Дипломдық жоба (жұмыс) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма бақылаушының аяқталған жобаға (жұмысқа) қойған

ҚОЛТАҢБАЛАРЫ

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, аты, әкесінің аты, тегі (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Төмен минерализацияланған су айдау технологиясына шолу	А. І. Нүсіпқожаев (Msc., Лектор)		
МТС терригенді коллекторларда қолдану	А. І. Нүсіпқожаев (Msc., Лектор)		
Карбонатты жыныстарда МТС қолдану	А. І. Нүсіпқожаев (Msc., Лектор)		
Терригенді және карбонатты қабаттарға минерализациясы төмен суды айдауды салыстырмалы түрде талдау	А. І. Нүсіпқожаев (Msc., Лектор)		
Минерализациясы төмен суды айдаудың қолдану критерийлері (шарттары)	А. І. Нүсіпқожаев (Msc., Лектор)		
Мұнайды ығыстырудың негізгі механизмін есептеу	А. І. Нүсіпқожаев (Msc., Лектор)		
Экономикалық тиімділікті есептеу	А. І. Нүсіпқожаев (Msc., Лектор)		
МТС айдаудың басқа да әдістермен қолданылуы	А. І. Нүсіпқожаев (Msc., Лектор)		
Норма бақылау	А. І. Нүсіпқожаев (Msc., Лектор)		

Ғылыми жетекші _____ А. І. Нүсіпқожаев
Тапсырманы орындауға алған білім алушы _____ А. С. Нұрмұхамбетова,
_____ С. М. Салыкова

Күні "17" 05 2019 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Дипломдық жоба бойынша

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ
ПІКІРІ

Нұрмұхамбетова А.С
Салыкова С.М

5В070800 – Мұнай-газ ісі

Тақырыбы: "Төмен минерализацияланған су айдау тәсілінің Қазақстан кенорындарында қолдану тиімділігін бағалау"

Дипломдық жобада төмен минерализацияланған су айдау мұнай бергіштікті арттыру тәсілі ретінде қарастырылып, мұнайды ығыстырудың негізгі механизмдері көрестілген. Бұл жоба өзара байланысқан келесідей бөлімдерден тұрады: кіріспе, төмен минерализацияланған су (МТС) айдау технологиясына шолу, терригенді және карбонатты коллекторлардағы МТС айдаудың ерекшеліктері мен әсер ету механизмдері, МТС қолдану критерийлері, мұнай ығыстырудың негізгі механизмін есептеу, экономикалық тиімділікті есептеу және МТС айдаудың басқа әдістерімен колданылуы, қорытынды мен пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады.

Жоба барысында ақпаратты шолу жүйелі түрде жасалынған. Терригенді және карбонатты коллекторлардағы МТС айдаудың негізгі әсер ету механизмдерінің ерекшеліктері қарастырылып, басты механизм ретінде дымқылданудың өзгеруіне мән берген. Әлем бойынша зерттеулер саны өте аз, себебі минерализациясы төмен су айдау - әлі де толыққанды зертеулерді талап ететін жаңа әдіс. Дымқылданудың жанасу бұрышын өзгерте отырып, оның мұнай бергіштікке әсерін байқау мақсатында жүргізілген есептеу әлі де толықтырулар мен кенорын жағдайындағы мәліметтерді қажет етеді. Жобаның экономикалық тұрғыда тиімділігі күрделі салымдар, пайдалану шығындары және салықтарды ескере отырып, Қаражанбас кенорны үшін экономикалық тиімділікті бағалау бөлімінде көрсетілген.

Жобаны жасау барысында аталған студенттер командалық жұмысты ұйымдастырылған түрде, әрі үлкен жауапкершілікпен орындағанын айта кеткен жөн. Сонымен қатар, бұл студенттер ғылыми ақпаратты талдау, оған шолу жасау дағдыларын көрсете отырып, алынған білімді тәжірибеде қолдана алды.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, дипломдық жоба Мемлекеттік Аттестациялау Комиссиясының алдында қорғауға, ал бұл студенттерге бакалавр лауазымын беруді ұсынамын.

Ғылыми жетекші
MSc, «Мұнай инженериясы» кафедрасының лекторы

_____ Нусипкожаев А.И.

«8» мамыр 2019 ж.

Краткий отчет

Университет:	Satbayev University
Название:	Төмен минерализацияланған су айдау тәсілінің Қазақстан кенорындарында қолдану тиімділігін бағалау.docx
Автор:	Нұрмұхамбетова А.С Салыкова С.М
Координатор:	Айбол Нусипкожаев
Дата отчета:	2019-05-08 06:46:17
Коэффициент подобия № 1:	12,0%
Коэффициент подобия № 2:	2,2%
Длина фразы для коэффициента подобия № 2:	25
Количество слов:	11 103
Число знаков:	83 811
Адреса пропущенные при проверке:	
Количество завершенных проверок:	19

К вашему сведению, некоторые слова в этом документе содержат буквы из других алфавитов. Возможно - это попытка скрыть позаимствованный текст. Документ был проверен путем замещения этих букв латинским эквивалентом. Пожалуйста, уделите особое внимание этим частям отчета. Они выделены соответственно.

Количество выделенных слов 18

>> Самые длинные фрагменты, определеные, как подобные

№	Название, имя автора или адрес гиперссылки *(Название базы данных)*	Количество Автородинаковых слов
1	URL_ http://petrotexlibrary.com/2018/08/143-comprehensive-review-chemical-induced-reservoir-wettability-alteration-characterization-eor-aspects/	40
2	URL_ https://academic.naver.com/article.naver?doc_id=163573881	40
3	URL_ https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-181386-MS	35
4	URL_ https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-174063-MS	35
5	URL_ https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-169911-MS	34
6	URL_ https://academic.naver.com/article.naver?doc_id=163573881	30
7	URL_ http://petrotexlibrary.com/2018/08/143-comprehensive-review-chemical-induced-reservoir-wettability-alteration-characterization-eor-aspects/	27
8	URL_ https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-169911-MS	23
9	URL_ https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-129877-PA	23
10	URL_ https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-169911-MS	22

>> Документы, в которых найдено подобные фрагменты: из RefBooks

Источник Paperity.org

№	Название	Автор	Количество одинаковых слов (количество фрагментов)
1	Measurements of the Relationship Between Microstructure, pH, and the Streaming and Zeta Potentials of Sandstones PAPERITY_85281963	(E.Walker;P. W. J.Glover;)	14 (2)
2	Effectiveness of oil displacement by sequential low-salinity waterflooding in low-permeability fractured and non-fractured chalky limestone cores PAPERITY_99009544	(Hazim H.Al-Attar;Abdulrazag Y.Zekri;Benny A.Harahap;Essa G.Lwisa;)	12 (1)

>> Документы,содержащие подобные фрагменты: Из домашней базы данных

Документы, выделенные жирным шрифтом, содержат фрагменты потенциального плагиата, то есть превышающие лимит в длине коэффициента подобия № 2

№	Название *(Название базы данных)*	Автор	Количество одинаковых слов (количество фрагментов)
1	Орынбасар Санжар Айбекұлы *Satbayev University (И_И_В_Т)*	Дәнді дақылдарды пайдалану арқылы мұнай мен мұнай өнімдерінің төгілулерін утилизациялау технологиясын жасау	13 (1)

>> Документы,содержащие подобные фрагменты: Из внешних баз данных

Не обнаружено каких-либо заимствований

>> Документы,содержащие подобные фрагменты: Из интернета

Документы, выделенные жирным шрифтом, содержат фрагменты потенциального плагиата, то есть превышающие лимит в длине коэффициента подобия № 2

№	Источник гиперссылки	Количество одинаковых слов (количество фрагментов)
1	**URL_** **https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-169911-MS**	**182 (15)**
2	**URL_** **https://academic.naver.com/article.naver?doc_id=163573881**	**137 (7)**
3	**URL_** **https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-174063-MS**	**136 (9)**
4	URL_ https://www.onepetro.org/doi/10.2118/154334-PA	128 (11)
5	**URL_** **https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-181386-MS**	**99 (7)**
6	URL_ https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-190191-MS	93 (7)
7	URL_ https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-182626-MS	86 (7)
8	**URL_** **http://petrotexlibrary.com/2018/08/143-comprehensive-review-chemical-induced-reservoir-wettability-alteration-characterization-eor-aspects/**	**76 (3)**
9	URL_ https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-190807-MS	61 (7)
10	URL_ https://www.onepetro.org/download/journal-paper/SPE-169052-PA?id=journal-paper%2FSPE-169052-PA	59 (6)
11	URL_ http://orbit.dtu.dk/ws/files/128129620/Thesis_20_4_2015.pdf	49 (6)
12	URL_ https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-129877-PA	35 (2)
13	URL_ https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-181408-MS	34 (3)
14	URL_ https://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=42601	18 (1)
15	URL_ http://kgd.gov.kz/sites/default/files/npa/fno/2018_27032018/fno_pravila_kaz/pr.49_641.00_erezhe_kaz.docx	15 (3)
16	URL_ https://search.rsl.ru/ru/record/01001767993	14 (1)

17	URL_ https://link.springer.com/article/10.1007/s13202-017-0331-5	14 (1)
18	URL_ http://www.mdpi.com/1996-1073/10/4/576/pdf-vor	11 (1)
19	URL_ https://www.spe.org/en/print-article/?art=427	10 (1)
20	URL_ https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11242-011-9788-8.pdf	10 (1)
21	URL_ http://lili.ems.psu.edu/publication/Qiao2014SPElowSalinity.pdf	9 (1)
22	URL_ https://paperity.org/p/185779943/performance-of-low-salinity-water-flooding-for-enhanced-oil-recovery-improved-by-sio2	8 (1)
23	URL_ http://cscanada.net/index.php/aped/article/view/9683	6 (1)
24	URL_ https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016WR020191	5 (1)

Copyright © Plagiat.pl 2002-2019

АННОТАЦИЯ

Минерализациясы төмен су (МТС) айдаудың технологиясын мен жыныс – мұнай – су жүйесінде орын алатын басты механизмдердің жұмыс принципін, оның мұнай бергіштікті арттырудағы әсерін бағалау. Дипломдық жоба кіріспеден, белгілеу және қысқартулардан және арнайы 8 бөлімнен, қорытынды мен пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. МТС айдаудың даму тарихы; терригенді және карбонатты коллекторлардағы қолданысы мен оның негізгі механизмдері, сонымен қатар, олардың салыстырылуы; МТС айдаудың қолдану критерийлері мен басқа да әдістермен бірге қолданылуы; мұнайдың ығыстырылуы дымқылдануға байланысты орын алатыны; Қаражанбас кенорны үшін аталған әдістің экономикалық тиімділігін бағалау қарастырылды .

Оценка технологии закачки низкоминерализованной воды (НМВ) и принцип работы главных механизмов, происходящих в системе порода – нефть - вода, ее влияние на нефтеотдачу. Дипломный проект состоит из введения, обозначения и сокращений и 8 специальных разделов, заключения и списка использованной литературы. Рассматривается история развития закачки НМВ; назначение и основные механизмы в терригенных и карбонатных коллекторах, а также их сравнение; влияние смачиваемости на вытеснения нефти за счет изменения контактного угла; совместное применение с другими методами увеличения нефтеотдачи; определено основные критерии применения закачки НМВ; также оценка экономической эффективности данного метода для месторождения Каражанбас.

Evaluation of technology low - salinity waterflooding (LSW) and the principle of operation of the main mechanisms occurring in the rock – oil - water system, its impact on oil recovery. The diploma project consists of an introduction, symbols and abbreviations and 8 special sections, conclusion and list of references. Examines the historical development of the LSW; the purpose and basic mechanisms in sandstone and carbonate reservoirs, and comparing them; influence of wettability on oil displacement due to change of contact angle; combination with other methods of enhanced oil recovery; the application criteria for LSW; also assessment of economic efficiency of this method for Karazhanbas field.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ
1 Төмен минерализацияланған су айдау технологиясына шолу 14
2 МТС терригенді коллекторларда қолдану 16
2.1 Терригенді коллекторларда МТС айдаудың ерекшеліктері..... 16
2.2 Терригенді коллекторларда МТС айдаудың ісер ету механизмі 17
3 Карбонатты жыныстарда МТС қолдану 26
4 Терригенді және карбонатты қабаттарға минерализациясы төмен суды айдауды салыстырмалы түрде талдау 31
5 Минерализациясы төмен суды айдаудың қолдану критерийлері 33
6 Мұнайды ығыстырудың негізгі механизмін есептеу 34
7 Экономикалық тиімділікті есептеу 41
7.1 Экономикалық тиімділікті есептеу..... 42
7.2 Капиталдық (күрделі салым) құйылымдар 42
8 МТС айдаудың басқа да әдістермен қолданылуы 46
8.1 МТС пен полимерлі суды бірге айдау. 46
8.2 МТС пен беттік әрекет заттарын (БӘЗ) бірге айдау. 47
8.3 МТС пен су-газды кезектестіріп бірге айдау. 47
ҚОРЫТЫНДЫ 49
БЕЛГІЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР 50
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ..... 51

КІРІСПЕ

Жұмыс өзектілігі.

Игерудің өнеркәсіптік-игерілген әдістерімен игерілмеген немесе қалдық мұнай қорлары жер қойнауындағы бастапқы геологиялық қорлардың орташа 55-75% - ын құрайды. Дәстүрлі әдістерді қолдану тиімді емес болғандықтан, қабаттардың мұнай беруін арттыруға мүмкіндік беретін жаңа технологияларды әзірлеу және қолдану міндеттерін анықтау өзекті болып табылады. Мұнай бергіштікті арттырудың белгілі бір әдісін қолдану және оның табыстылығы қабат пен сұйықтықтың сипаттамаларына, өндіру тиімділігіне, айдалатын сұйықтықтың қол жетімділігіне және шығындарына тікелей байланысты. Осы тұрғыдан алғанда, соңғы уақытта көп ұсынылып келе жақан, бірақ айтарлықтай кең таралмаған әдістердің бірі – төмен минерализациялы су айдау (МТС). Қазіргі уақытта мұнайды ығыстырудың негізгі механизмдерін анықтау мақсатында және минерализациясы төмен су айдау кезінде мұнайдың кеуекті ортада орын алатын негізгі механизмдерін түсіну үшін МТС айдау бойынша жеткілікті дәрежеде зертханалық зерттеулер мен кен орындарында тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтар әлі де аз. МТС айдау барысында мұнай бергіштіктің артуы тау жынысы - су - мұнай жүйесіндегі келесідей механизмдерге байланысты орын алатындығы ұсынылды: ионды алмасу, дымқылданудың өзгерісі; минералдардың еруі; ұсақ дисперсті бөлшектердің үзілуі және миграциясы; қос электр қабатының әсерлері; PH жоғарылауы және фазааралық созылудың төмендеуі; беттік-белсенді заттардың әсері; тұздардың түзілуі және кеуекті арналардың бітелуі. Дұрыс жобаланған МТС айдау мұнайды тиімді ығыстыру үшін дымқылдануды өзгертуге мүмкіндік береді, сондай-ақ тұздардың шөгуін төмендетеді, бұл өз кезегінде пайдалану кезінде маңызды рөл атқарады. Дегенмен, МТС айдаудың негізгі механизмдерін түсіну үшін көптеген эксперименттік және модельдік зерттеулер қажет .

Жұмыс мақсаты

Төмен минерализацияланған суды айдау механизмдерін зерттеу және карбонат пен терригенді коллекторларындағы механизмдердің ерекшеліктерін салыстыру, сондай-ақ осы әдісті табысты қолдану үшін жалпы критерийлерді анықтау. Негізгі механизм ретінде мұнайдың микроскопиялық ығыстыру параметрлерін, дымқылданудың өзгеруін қарастыру.

Жұмыс міндеттері

1.Әдеби шолу жасау және МТС айдау технологиясын талдау.

2.Төмен минерализацияланған суды айдау кезіндегі мұнай – су - таужыныс жүйесінде орын алатын физикалық және химиялық процестердің ерекшеліктерін зерттеу.

3.МТС қолданудың жалпы критерийларын анықтау.

4.Фазааралық керілу, дымқылдану (жанасу бұрышы), капиллярлы қысым сияқты сипаттаушы факторлар арқылы мұнайды микроскопиялық ығыстыру процесін зерттеу.

5.Қаражанбас кен орны үшін экономикалық тиімділікті бағалау.

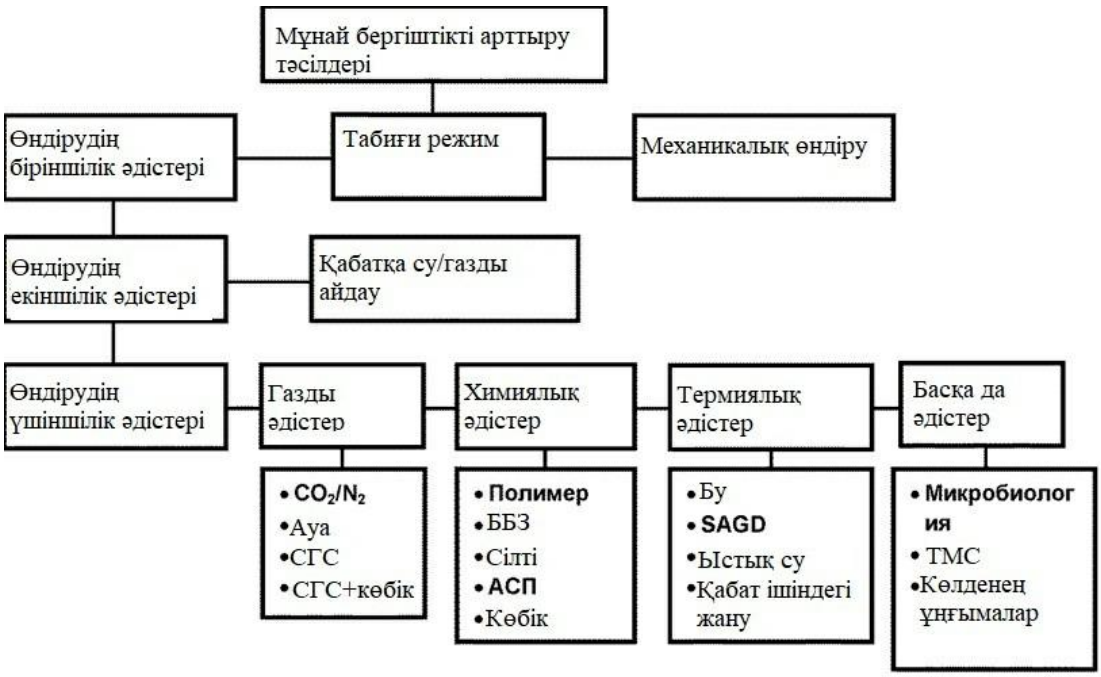
1 Төмен минерализацияланған су айдау технологиясына шолу

Барлық мұнай кен орындарында әр түрлі кезеңдерде мұнайды өндіру кезінде мұнайды шығару қабаттық энергияның барлық түрлері қолданылады. Табиғи энергия (қабаттың және флюидтердің серпімділік күші, шеттік судың қысымы, еріген газдың энергиясы және гравитациялық күштер) қамтитын мұнай өндірудің әртүрлі механизмдерімен, екінші және үшінші ретті мұнайбергіштікті арттыру механизмдерімен жүргізіледі. Өндірудің бастапқы режимі мұнайдың қанығу қысымынан төмен қысымды кен орындарында бастапқы қорлардың 3-тен 15% - ға дейін жететін мәндерімен мұнай бергіштік коэффициентіні сипатталады. Мұнай өндірудің екінші режимінде қабаттық қысымды алғашқы қабат қысымындағыдай ұстап тұру үшін көп жағдайда суды немесе түрлі газды айдайды. Белсенді контур сыртындағы су немесе газ бар болған жағдайда мұнай өндіру коэффициенті бастапқы қордың 50% - на жетеді [1].

Кен орындарының көпшілігінде қабаттың энергиясы игерудің бастапқы және екінші сатысында таусылады. Нәтижесінде әр түрлі флюидтерді айдағанда да өндірілмеген мұнай қорларының едәуір үлесі жер астында қалып отыр. Игерудің соңғы сатысында қабаттың белгілі бір жағдайларында мұнай бергіштікті (МБАӘ) арттырудың түрлі әдістері мен технологиялары қолданылады. МБАӘ деп табиғи жағдайда қабатта кездесетін түрлі агенттерді қабатқа айдау түсініледі. Бірақ МБАӘ кен орнын игерудің соңғы сатысында ғана қолданумен шектелмейді, оларды кен орнын өндіруге енгізудің басында қолдануға болады. Аралас және араласпайтын газ айдау (көмірсутек газдары, көмірқышқыл газы және азот) сияқты әртүрлі технологиялар, химиялық қоспалар (беттік-белсенді заттар (ББЗ). полимер, сілті немесе олардың қоспасы), термиялық әдістер (бу айдау немесе қат ішінде жану) және басқа әдістер (анаэробты бактерияларды айдау, минерализациясы төмен суды айдау (МТС) мұнай бергіштіктің артуы мұнай өндіру үшін қолданылады (1.1-сурет).

Суды мұнай қабатына айдау 1865 жылдан бастап мұнай бергіштікті арттырудың дәстүрлі тәсілі болып табылады. Соңғы 10 жылда бұл технологияны айдалатын судың композициялық құрамы тұрғысынан қарастыра бастады. Осылайша, минерализациясы төмен суды, айдаудың құмтастар мен карбонатты жыныстарда дымқылдануды өзгерту жолымен ығыстыруды жақсартатын жаңа технологиясы пайда болды. Бұл әдістің өзіне тән артықшылығы - жеңіл мұнай өндіру, судың қол жетімділігі және төмен капитал құю. Соңғы арттықшылығы басқа әдістермен салыстырғанда арзанырақ.

Минерализациясы төмен суды айдау (МТС) BP компаниясының LoSal^{TM}, SaudiAramco-да ақылды су (Smart water) айдау және ExxonMobil компаниясының иондарын (AIMSM) басқару сияқты әдебиеттерден белгілі.



1.1 сурет -Мұнай бергіштікті арттыру әдістері [1]

Қазіргі уақытта жыныс – су – мұнай жүйесінде болып жатқан процесстердің ішінде минерализациясы төмен суды айдағанда келесі ығыстыру механизмдері әдебиеттерде айқындалды. Олар:

1. ион алмасу және дымқылданудың өзгеруі;

2. минералдардың еруі және кішкентай бөлшектерден саздардың бөлініп, қозғалып кеуекті каналдарды бітеуі;

3. электрикалық қабаттың өзгеруі;

4. pH өсуі және фазааралық керілудің төмендеуі, беттік активті заттардың өзгеруі;

5. тұздардың тұнбаға түсуі және кеуекті ортаны бітеуі.

Карбонатты қабаттарда әдебиеттерге сәйкес минерализациясы төмен суды айдағанда негізгі механизм болып дымқылданудың өзгеруімен ион алмасу болып табылады. Терригенді тау жыныстардың минералогиялық құрамы карбонатты тау жыныстарға қарағанда күрделі, себебі олардың құрамында саз бар және олар қозғалысқа бейім.

Кейбір ғалымдар саздың тау жыныс құрамында болуы терригенді тау жыныстарда дымқылданудың өзгеруінің басты талабы екенін көрсетті. Ал карбонатты тау жыныстарында жыныс – су – мұнай жүйесінде кешенді ара-қатынастар салдарынан және карбонатты тау жыныстарының біртексіздігінен оларды басты механизмдерді анықтау өте қиын болып табылады.

Қазіргі уақытта МТС айдау барысында мұнайды ығыстыру механизмдері бойынша жеткілікті зертханалық зерттеулер әлі жүргізілген жоқ. Жыныстарың бетінің дымқылдануын өзгерту қосымша мұнай бергіштіктің басты механизмі болып табылады деп болжануда. Бірақ ұсақ бөлшектердің еруі және миграциясы [2], қос электр қабатының кеңеюі және т. б. қосымша механизмдер ұсынылған мақалалар бар.

2 МТС терригенді коллекторларда қолдану

2.1 Терригенді коллекторларда МТС айдаудың ерекшеліктері

Саз және оның мұнайбергіштікке әсері.

Суды қабатқа айдаған кезде айдалып жатқан сумен қабаттағы сазды минералдармен әрекеттесу салдарынан қиыншылықтар туы мүмкін. Бұл мәселелер су айдау тарихының басынан келе жатыр. Саздар коллектор қабаттардың барлығында кездеседі және олардың фильтрациондық қасиеттерін анықтайды. Көптеген зерттеулер нәтижесінде, сазды қабатқа су айдаған уақытта қабат өткізгіштігін төмендеуі байқалады. Бұл процесс бұрғылау операциясында байқалады. Саздар өздерінің суды бойына сіңіріп өткізгіштік пен кеуектілікті төмендетеді. Саздың мөлшері жоғары болған жағдайда фильтрацияның сызықтық заңы өзгереді. Бұл қабатта ығыстырылмаған аумақтар пайда болуы мен сумен қамту коэффициентінің төмендеуіне әкеледі.

Әдетте, сазы бар қабаттың тепе - теңдігінің бұзылуы минерализациясы қабат суымен салыстырғандағы төмен суды айдағанда байқалады. Негізгі кемшіліктер айдау ұңғымаларының қабылдауымен байланысты. Бірақ қазіргі таңда, саздың болуы кемшілік емес керісінше қабаттың артықшылығына айналатыны дәлелденуде. Себебі, кейбір жағдайларда суды айдағанда судың қабат сазымен әрекеттесуі оңтайлы фактор екені анықталды.

Көптеген зерттеу жұмыстарын қарастырғанда, қабаттарды екі топқа бөлуге болады. Бірінші топқа қабатта саз болады және олар қозғалысқа ұшырайды. Екінші топқа саздың үлесі төмен, бірақ ондай қабаттарда иондық әрекеттесу дәрежесі жоғары болады. Бірінші жағдайда, саз болған кезде жыныстын беті оң зарядталған, ал саз бөлшектері керісінше теріс зарядтты болады. Қабат суы оң зарядталады, ал мұнай теріс зарядталады. Айдау суының минерализациясы төмендеген жағдайда электростатикалық күштердің әлсізденуі байқалады. Себебі мұндай жыныстарды саз катион алмасудың себепшісі болады да бетіндегі қабаттың қозғалуына әкеліп соғады. Екінші жағдайда, саз мөлшері төмен болған кезде бастапқыда жыныс беті оң зарядталады және pH 6-ға тең болады. Зарядталған барлық қабат беттері қабат суымен араласқанда олар қабат бетіндегі екіншілік қабат деп аталатын жерде иондарға қол жеткізеді. NaCl, ионы болғанымен Na^{+} и Cl^{-} иондары артқан кезінде. Қабат суы, сонымен қатар, Ca^{2+} және Mg^{2+} құрамында болғандықтан және CO_3^{2-} және SO_4^{2-} иондарының саны аз болғандықтан, қабат суы көп жағдайда оң зарядталған. Демек, мұнай теріс зарядты болғандықтан дымқылдану бұрышы жоғары болады. Минерализациясы төмен суды айдағанда SO_4^{2-} жыныс бетіне жабысып, оң зарядтты теріс зарядқа алмастырады. Сулану артып қабат беті гидрофильді күйге айналады да, қосымша мұнай ығыстырылады. Қалдық мұнай коэффициенті төмендеп, мұнайбергіштік артады. Ион алмасу саздың суды бойына сіңіріп, минералды бір күйден екінші күйге алмастырады. Саздың ісінуі айдау суының минерализациясының төмендеуімен жоғарылап, саз түрімен анықталады.

Мысалы, монтмориллониттік саздар (смектит) ең қатты ісінетін сазға жатады, гидрослюда (иллит) – азырақ ісінеді, ал каолинит саздар мүлдем ісінбейді. Егер қабат құрамында саз мөлшері 20% асса, онда қабат өткізгіштігі төмен болады.

Алғаш саз ісінуін байқаған зерттеушілердің бірі В.П. Батурин [27]. Ол 30-шы жылдардың басында минерализациясы әр түрлі су айдаумен осы құбылысты дәлелдеді. «Татнефть» компаниясының зерттеулері нәтижесінде минерализациясы әр түрлі суды айдау нәтижесінде саздылығы 2% қабатқа тығыздылығы 1000кг/м3 суды айдауға болады, ал егер ол 5% болса онда су қабаттан өтпейді.

Шетелдік әдебиет көздерінде бірқатар мақалалар төмен минерализацияланған су айдау тақырыбындағы осы технологиямен мұнай өндіру механизмдерін зерттеуге арналған. МТС айдау кезінде мұнай бергіштікті арттырудың көптеген түрлі механизмдері ұсынылды. Бірақ бірде-бір механизмдер мұнай бергіштікті арттырудың негізгі механизмі ретінде қабылданбады. Бұл мұнай - қабаттық (айдалатын) су - тау жынысы жүйесінің кешенді өзара әрекеттесуімен байланысты.

Натрий хлоридінің (NaCl) ерітіндісін және тұщы суды айдау терригенді тау жыныс үлгілерінде бірқатар зертханалық зерттеулер жүргізілді. Минералданған ерітінділермен салыстырғанда, МТС қолданғаннан кейін мұнай бергіштік мен қысым градиентінің артуын байқалады. Мұнай бергіштік мөлшері саздың ісінуі салдарынан ерітіндімен салыстырғанда тұщы суды айдау кезінде көбірек болды [4].

МТС айдау бойынша зерттеулер нәтижесіне негізделе отырып (1,5 г/л), ұсақ бөлшектердің, әсіресе саз бөлшектерінің жыныстың құрамынан бөліну механизмін ұсынды, сол арқылы жыныстың гидрофобтан гидрофильді жынысқа өзгертеді. Дегенмен, олар кеуектердің кольматациясы және өткізгіштіктің төмендеуі орын алатынын көрсетеді. МТС қолдану үшін оңтайлы температура 90°С болып табылады, саз құрамы да мұнайдың ығыстырылуына оң әсер етеді, ал ұсақ бөлшектердің қозғалуы көмекші тетік болып табылады [5].

Алайда, саздың ісінуі өткізгіштікке ешқандай әсер етпейтіні жайлы мақалалар кездеседі [6] . Бұдан басқа, МТС айдау кезінде саздың ісіну әсері де жоққа шығарылады.

2.2 Терригенді коллекторларда МТС айдаудың әсер ету механизмі

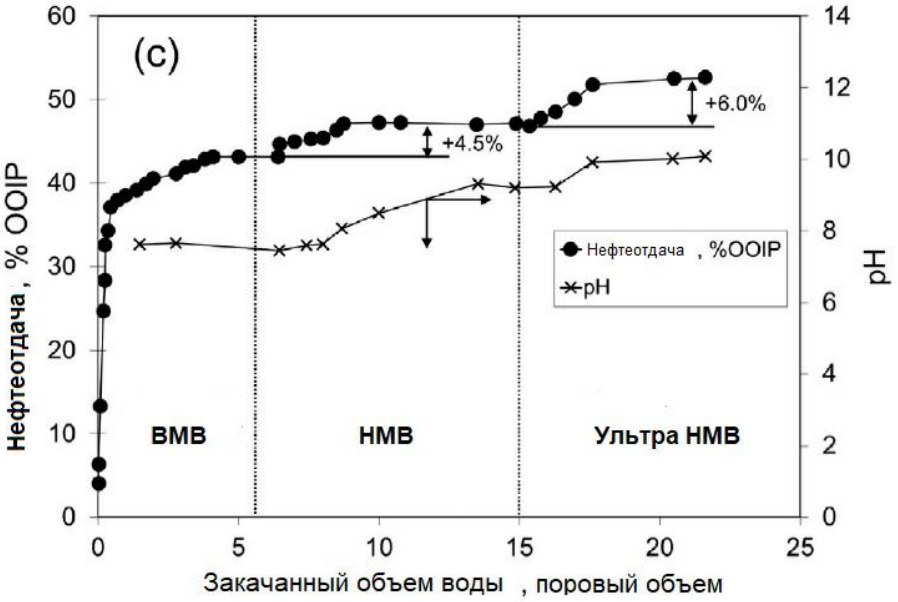
РН ортаның әсері. Ең бірінші рет ығыстырудың артуы МТС айдау кезінде рН ортасының артуымен байланысты [7] (1.3 сурет). Ортаның сілтілігін арттыру жыныстың қабат бетінің керілуін және дымқылданудың жанасу бұрышын азайтады, бұл оны гидрофильді етеді делінген. Бірақ бұл қасиеттің сілтілі су айдау технологиясына ешқандай қатысы жоқ. Сонымен қатар, Ca^{2+} және Mg^{2+} екі валентті катиондарының төмендеуі беттік белсенді заттардың (ББЗ) шөгуіне ықпал етпейді. Минерализациясы төмен суды қабатқа айдаған кезде, мұнайдың қышқыл компоненттерімен өзара

әрекеттесетін және ББЗ түзетін сілтілі орта түзіледі, осылайша фазааралық керілу азаятынын және жыныстардың қабырғаларынан мұнайды жуып-шаюдың жақсарады [8].

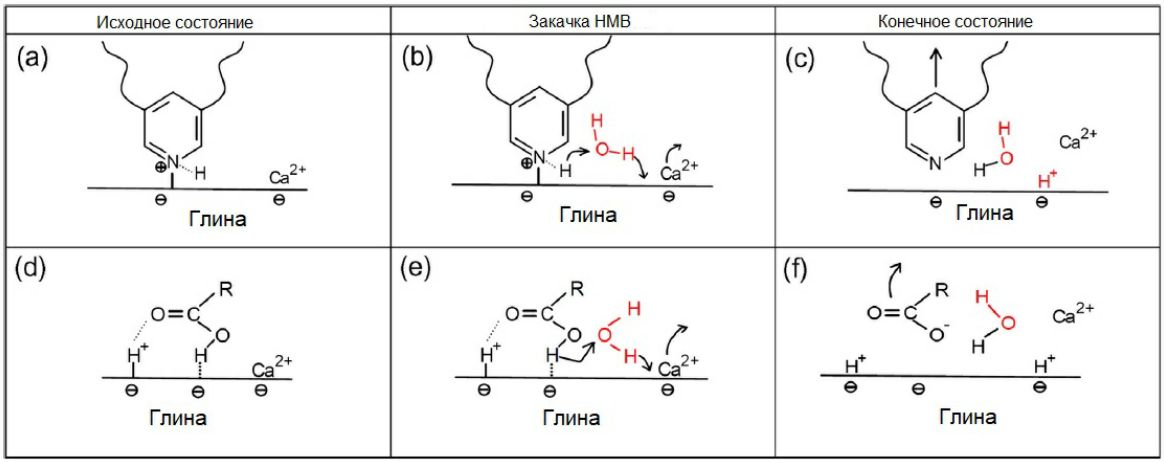
Мұнай бергіштікді арттырудың химиялық механизмін ұсынылды[36]. Алдымен, қабатта pH (5-6) ортамен термодинамикалық тепе-теңдік бар деп болжады. pH төмен мәні бұл тепе-теңдіктің бұзылуына ықпал етеді, бұл ретте су мен тау жыныс арасындағы химиялық өзара әрекеттесуді туындатады, яғни Ca^{2+} катиондарының жетіспеушілігі жыныстың бетінде H^{+} иондарымен МТС айдалуынан ортаның pH ұлғаяды (2.1 сурет). Сазды минералдар химиялық реакциялар кезінде катиондармен алмасу қабілеттілігімен ерекшеленеді. Сазды минералдардың көпшілігі теріс зарядталған, нәтижесінде оларға тепе-теңдік үшін катиондар (оң зарядтар) қажет. Бұл Ca^{2+}катиондарының көмегімен жүзеге асырылады. МТС айдалғаннан кейін минералдар (саз) бетінде Ca^{2+}және H^{+} иондарының алмасуы орын алады. Кері реакция айдалатын судың минерализациясы жоғарылағанда жүреді:

$$\text{Саз}\,(Ca^{2+}) + H_2O \rightarrow \text{Саз}\,(H^{+}) + Ca^{2+} + OH^{-} \qquad (1.1)$$

Бұл ретте мұнай бергіштіктің артуы мұнайдың беттік-белсенді компоненттерінің және сазды минералдардың өзара іс-қимылы салдарынан болады.



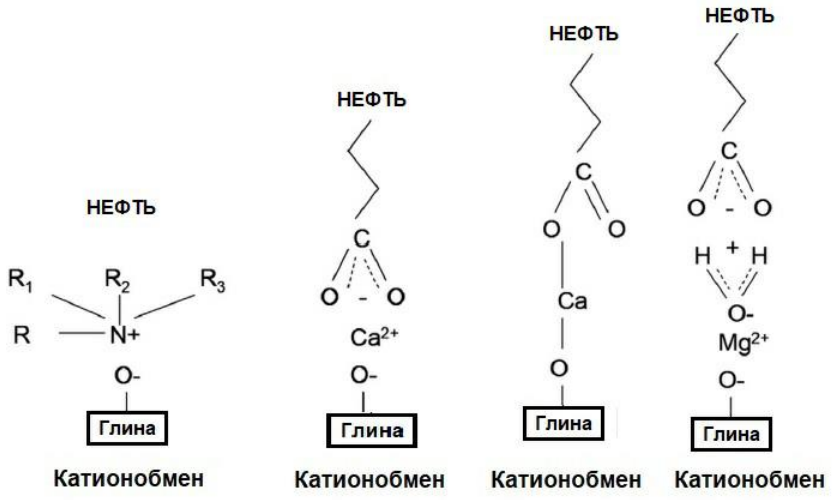
2.1 сурет-МТС айдау кезіндегі pH артуы [7]



2.2 сурет-МТС айдау кезіндегі pH ұлғаю механизмі [8]

Алайда, МТС айдау кезінде pH шамалы артуымен беткі керілудің 25-тен 18 мН/м-ге дейін төмендеуі орын алады, бірақ бұл мән жыныстың бетін шайып, мұнайды ығыстыру үшін жеткіліксіз[9]. БӘЗ-ларды айдау әсері болу үшін қажетті шарт мұнай қышқылының жоғары мәні болып табылады. Сондай-ақ, pH пен мұнай бергіштік арасындағы корреляция байқалмады, қабаттық жағдайларда pH-тың артуы екіталай екеніне назар аударылады.

Мульти-иондық алмасу. Мульти-ион алмасу механизмі [10] қабатқа айдалатын судың минерализациясы төмендегенде (2.2 сурет), жыныс бетінің дымқылданудың өзгеруі Ca^{2+} және Mg^{2+} катиондарының болуымен байланысты[11]. Бұл катиондар жыныстың бетінен мұнай компоненттерінің үзілуіне жауапты мұнай мен жыныстың беті арасындағы көпірдің рөлін атқарады. Бұл бекіту эксперименттік зерттеулермен расталған.



2.3 сурет - Мульти иондық алмасу механизмі [11]

Айдалатын сулардың композициялық құрамы маңызды емес, өйткені минералданудың төмендеуі катиондар десорбциясына алып келеді. Алайда, Ca^{2+} иондарын судан алып тастау, бұл ортаның pH байланысты емес [12].

Алайда, алынған сулардағы pH ортасының өзгеруі байқалмаған зерттеу нәтижелері де бар[12]. Олар қабаттық жағдайларда pH жалпылай өзгеруі мүмкін емес, өйткені қабатта процестің pH өсуіне мүмкіндік бермейтін CO_2 бар екендінін мәлімдейді. Ca^{2+} және Mg^{2+} катиондар деңгейінің төмендеуі мультииондық алмасумен байланысты емес, бұл $Mg(OH)_2$ және $Ca(OH)_2$. шөгуінің салдары. Алайда, бұл кезде pH (pH>11) жоғары мәндерінде тұнба түзіледі. Бірақ мұндай мәндер негізінде МТС айдау кезінде де табиғи қабаттық жағдайларда мүмкін емес [13]. Бұл теория өндіруші ұңғымадағы кәсіпшілік деректер неліктен Mg^{2+} көбеюінің минерализациясы төмен сумен өзара әрекеттесуі салдарынан саз бетінен катионның десорбциясымен байланысты екені түсіндірілген.

Мульти ион алмасу механизмін (МИА) көптеген зерттеушілер ұсынды. Алайда, бұл мұнайды ығыстырудың жеткілікті шарты емес, тек қосымшасы болып табылады. МИА механизмі үшін бастапқыда жыныстың бетінде адсорбцияланған және су мен жыныстың құрамындағы дивалентті катиондардың көмегімен ығыстырылуы мүмкін, мұнай құрамындағы полярлық компоненттердің болуы қажет. Минерализациясы төмен суды қабатқа айдау кезінде мұнай өндіруді болжау үшін математикалық модель жасау үшін саз түрлері, су мен мұнайдың композициялық құрамы сияқты қажетті жағдайларды анықтау бойынша қосымша зерттеулер талап етіледі.

Тау жынысының дымқылдануының өзгеруі. МТС айдау кезінде жыныстың бетінің дымқылдануын зерттеу бойынша көптеген зерттеулер жүргізілді. Зерттеушілер келесі тұжырымдарға келді: құмтас кеуек жүйесі ретінде сазды минералдар болуы тиіс және олардың түрі маңызды рөл атқарады [14]. Айдалатын судың құрамында Ca^{2+} және Mg^{2+} дивалентті катиондары болуы тиіс, ал мұнайда полярлық компоненттер болуы тиіс. Судағы тұздың концентрациясы шамамен 0,1-0,5 % (1-5г/л) болуы тиіс. Зерттеулер жүргізу кезінде керн бойымен қысым градиентінің өсуі салдарынан, ұсақ бөлшектердің қозғалуы белгіленді. Температура бойынша шектеу болған жоқ, зерттеудің көпшілігі 100°C төмен температурада орындалды.

Дымқылданудың өзгеруі минерализациясы төмен суды (МТС) айдау кезінде мұнай бергіштіктің басты механизмі болып саналады, оның ішінде саздың ісінуі, pH жергілікті өзгеруі және мульти-иондық алмасу. Терригенді жыныстардағы дымқылданудың өзгеруі саздың болуына және тау жынысы құрамындағы Ca^{2+} және Mg^{2+} дивалентті катиондарының жоғары болуына байланысты [15].

МТС 1,5 г/л (0,15%) құмтас керн үлгілерге айдау кезінде pH ортаның 9-ға дейін артуы байқалды, бұл ББЗ пайда болуын көрсетеді[16]. Осылайша, МТС айдау органикалық материалдың жыныс беттерімен байланысын бұзып, термодинамикалық ортаға әсер етеді. Осыған ұқсас нәтижелер [17] мақалада зертханалық зерттеулер нәтижесінде алынды. Сазсыз керн үлгілеріндегі зерттеулер жыныстың құрамында саздың болуының маңыздылығын дәлелдейді.

Катиондар концентрациясының айдалатын судағы жыныстың дымқылдануына әсері зерттелді[18]. МТС зарядты жүйенің теріс тау жынысына ауыстыратыны анықталды, тау жынысы - су және мұнай-су, оны неғұрлым гидрофильді етеді. Олар сондай-ақ, қабаттарға әсер етудің екінші әдісі кезінде, МТС айдауда жақсы нәтижелер болатынын, дымқылданудың шеткі бұрышы температураның, қысымның өсуімен және айдалатын судың тұздылығының азаюымен ұлғаятынын атап өтті. Сонымен қатар, тұздардың шоғырлануына қарағанда, құрамының маңыздылығын көрсетеді.

Дымқылданудың өзгеруі - мұнай бергіштіктің басты механизмі [19]. Зертханалық зерттеулер қалдық су мен мұнайға қанығу азайғанын көрсетті. Құрамында түрлі сазды минералдар (каолинит, хлорит, монтмориллонит және ильменит) бар терригендік материалдар бетінің электрокинетикалық потенциалын және қос электрлік қабатын бағалау бойынша эксперименттер жүргізілді[20]. Зерттеу нәтижелері моновалентті катиондар (Na^+) 25°C температурада электрокинетикалық мәнін арттыру үшін дивалентті катиондарға қарағанда тиімдірек екенін көрсетті. Сондай-ақ, олар судың тұздылығының төмендеуімен электрокинетикалық потенциал (ЭКП) теріс болатынын көрсетті, бұл ретте мұнай мен тау жынысы арасындағы итергіш күштер гидрофильді тау жыныс ете отырып, ұлғаюда. МТС ұсақ дисперсті бөлшектер құрай отырып жабысатыны, мұнайдың беттік белсенді компоненттерін қайта құратыны анықталды. Бұл бөлшектер жыныстың бетінің дымқылдануын өзгертеді, оны гидрофильді етеді. Бұл механизм терригенді және карбонатты жыныстарда саз болуына сезімтал еместігін айтады. Зерттеу нәтижелері кернді су айдау және сіңдіру бойынша зертханалық жұмыстарымен, сондай-ақ микромодельдегі ағымдарды шолып бақылаумен расталады.

МТС зерттеу кезінде молекула аралық аралықты өлшеу үшін атомды микроскоп қолданылды. Зерттеуде 3,6 және 0,15% (36 г/л және 1,5 г/л) минерализациясы бар су пайдаланылды. Кварц бөлшектері мен карбон қышқылдары арасындағы тартылу айдалатын судың тұздылығы азайған кезде қатты төмендейді, бұл МТС тиімділігін түсіндіруі мүмкін [21]. Айдалатын су минерализация концентрациясы 0,5-0,8% (5-8 г/л) кезінде тартылу күші төмендейді [22] .

Қос электр қабатының кеңеюі. Дымқылданудың өзгеруі қос электр қабатының (ҚЭҚК) кеңеюі арқылы түсіндіріледі [22]. (ҚЭҚК) -саздың бетін қоршайтын екі қабат. "Адсорбциялық қабаттың" бірінші қабаты тек катионнан (Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} және т. б.), екіншісі "диффузды қабат" деп аталады және жыныстың бетінен алыс. Екінші қабатқа кіретін мұнайдың теріс зарядталған компоненттері гидрофобты бетін жасай отырып, адсорбциялық қабатта валентті катиондарға (Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} және т.б.) қосылуы мүмкін. Төмен минерализацияланған суды қабатқа айдау кезінде мұнайдың катиондарға қосылу ықтималдығын төмендетіп және оларды гидрофильді ете отырып, екі қабатты электр қабаты кеңейтіледі [23].

Қос электр қабатының (ҚЭҚ) электрлік потенциалы зета потенциалмен өлшенеді. Сыртқы қабатта электр заряды тұрақты емес және ионды күштің азаюымен ұлғаяды, ол валенттілікке келесі қатынаспен байланысты:

$$I = \frac{1}{2}\sum C_j z_j^2 \qquad (1.2)$$

мұндағы С - молярлық концентрация немесе молярлық (моль/л). z-иондардың валенттілігі, (1.2) формулаға сәйкес МТС айдау кезінде иондық күшті ескеру қажет, өйткені барлық суларда мультивалентті иондар бар. Иондардың валенттілігін арттыру кезінде судың жоғары минерализациясы сияқты иондық күштің мәнін алуға болады.

Айдалатын судың тұздылығы төмендегенде кварц бетінде мұнайдың толық емес молекулаларын ұстап тұратын күштер азаятыны анықталды. Екі қабатты кеңейту мұнай бергіштікді МТС айдау әдісімен арттыру кезінде басты рөл атқарады, ал қалған механизмдер тек екінші дәрежелі рөл атқарады [24]. Одан әрі, ҚЭҚК үшін судың композициялық құрамына қарағанда минерализациясы аса маңызды деп айтылады [24]. Қос электр қабатының механизмінде электростатикалық күштер жыныстың дымқылдануы өзгерген кезде маңызды рөл атқарады. Атап айтқанда, фазаларды бөлу шекарасында мұнайдың полярлық компоненттерінің су - мұнай жыныстың бетімен бірдей зарядқа ие. Минералдану төмендеген кезде мұнай компоненттері оны гидрофильді жасай отырып, жыныстың бетінен десорбцияланатын болады.

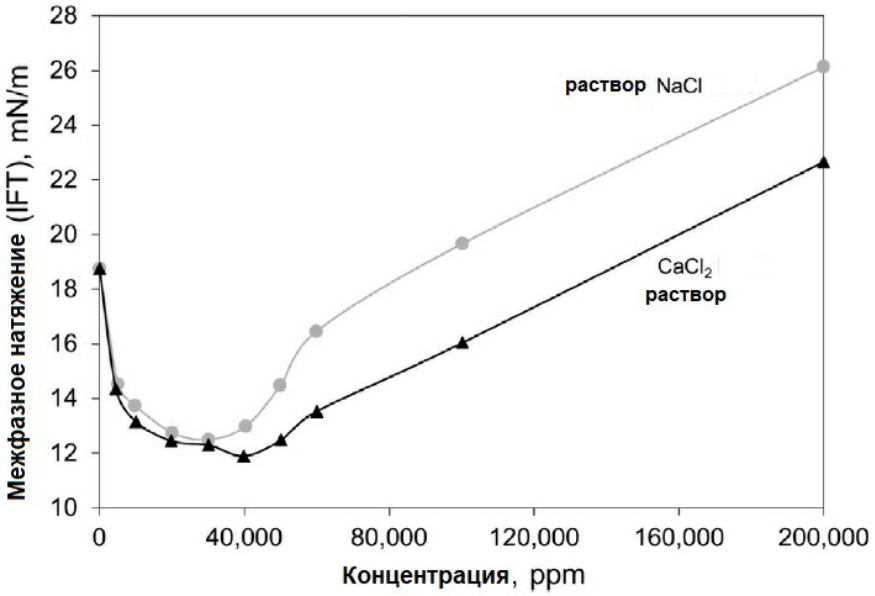
Алайда, бұл теория ионды күштің төменгі мәндерінде де минерализациясы төмен суды айдау әсері байқалмайтынын түсіндірмейді. Зета потенциалын өлшеу бойынша көптеген зерттеулер төмен температурада және мұнайсыз ғана жүргізілді [25].

Зета потенциалы кварц бетінің NaCl минерализациясымен түйіскеннен кейін тұрақты болады. Сондай-ақ, қос қабаттың қалыңдығы иондардың өлшемімен өлшенетін болады, бұл жағдайда Na^+ гидрирленген жыныстың бетін қоршайды және концентрацияның одан әрі артуы Na^+ иондарының соңғы өлшемінен қос қабатты төмендетуге әкеліп соқпайды. Осылайша, ҚЭҚК дәлізінен тыс шығатын иондардың жоғары концентрациясы кезінде қос электр қабатының қалыңдығы, оның иондық күшімен емес, доминантты ион радиусымен анықталады деп айтуға болады. Бұдан басқа, ҚЭК кеңеюі судың минерализациясы белгілі мәннен төмендеген кезде ғана жүргізілетін болады.

Терригенді тау жыныстардағы екі қабатты және беттік зарядты өлшеу бойынша тәжірибелік зерттеулер моновалентті катиондар 25ºС температурадағы дивалентті катиондарға қарағанда зета потенциалының мәнін арттыратынын көрсетті.

Мұнай-су-тау жынысы өзара әрекеттесуін зерттеу микромоделдердегі МТС айдау кезінде төмен минералдандырумен суды айдауы мұнайдың белсенді компоненттерінің мұнай компоненттерін жыныстың бетінен десорбциялайтын микродисперсиялар түзетінін көрсетеді.

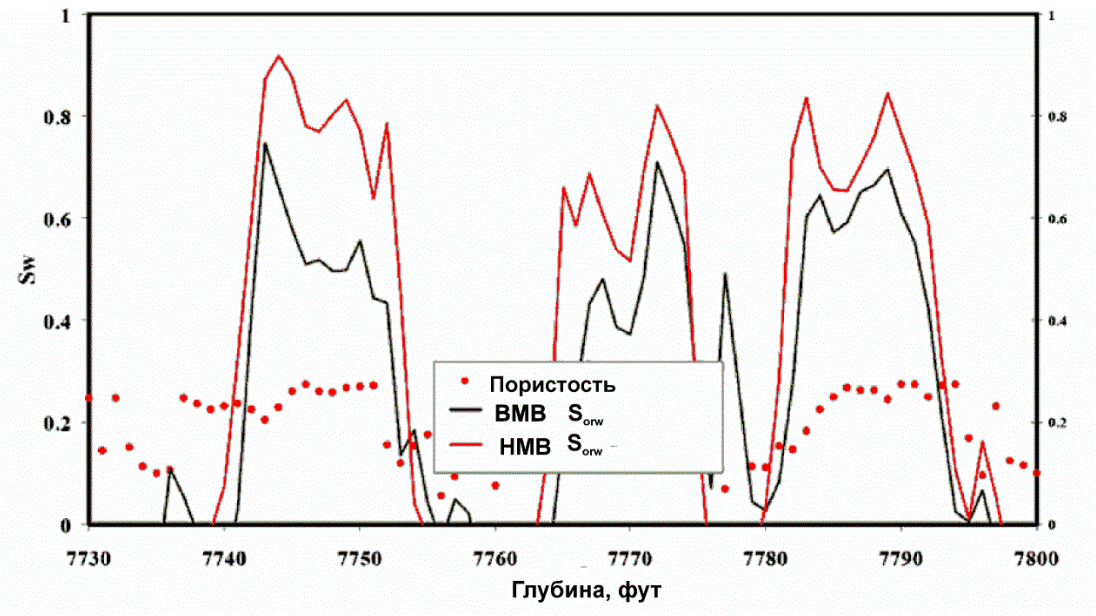
Мұнай бергіштіктің басқа кең таралған механизмдеріне судың минерализациясын азайту кезінде фазааралық керілудің төмендеуін жатқызуға болады [26]. Мысалы, 30г/л (NaCl және CaCl2) суды минералдандыруда фазааралық керілу 13 мН/м құрады (2.4 сурет), бірақ бұл концентрация аз минерализациялы судың минерализациясынан көп есе асып кетті.



2.4 сурет – Фазааралық керілудің NaCl және $CaCl_2$ минералдануына тәуелділігі

Одан әрі зерттеу қабаттық жағдайларда қос электр қабатының кеңеюі мүмкін бе және ол МТС айдау кезінде дымқылданудың өзгеруіне байланысты ма екенін тексеру үшін, атап айтқанда, жоғары температураларда және мұнай үлгілерінде зерттеулер жүргізу қажет.

МТС айдаудың терригенді коллекторлардағы басты механизмдерін анықтап алдық. Зертханалық зерттеулердің нәтижелерін кәсіптік сынақтармен расталды [27]. МЖС және МТС терригендік тау жынысқа айдағаннан кейін азаймайтын (қалдық) су қанықтығын өлшенді. Құрамында тұздылығы 3,5% - дан асатын суды айдаған кезде мұнай бергіштікдің артуы шамалы болды (2.5 сурет). Қалдық мұнай қанығу коэффициенті 30-дан 50% - ға дейін аралығында өзгерді. Бұл технологияны су - газ айдау сияқты мұнай бергіштікті арттырудың басқа әдістерімен біріктіру қажет деп санайды.



2.5 сурет - МТС айдалғаннан кейін судың қаныгу коэффициенті [27]

Ресейдегі "Первомайское" кен орнында МТС айдау бойынша жеті кәсіптік сынақ өткізілді, онда мұнай бергіштіктің қосымша өсімі - 9% - ға дейін алынды [28]. Авторлар құрамында өзгеше саз балшығы бар кернді ұнтақтау бойынша зерттеу өткізді. Атап айтқанда, олар құрамында сазы төмен үлгілерде дымқылданудың өзгеруі басым екенін көрсетеді, ал құрамында сазы жоғары болатын үлгілерде мұнай бергіштіктің артуы, саздың ұсақ бөлшектерінің бұзылуы, қозғалысы және каналдардың бітелуі болды, бұл су бойынша салыстырмалы фазалық өткізгіштің екі есе азаюымен дәлелденді.

Келесі мақалада МТС қолданудан теріс нәтижелері бар [29]. Автор Солтүстік теңіздегі «Snorre» кен орнындағы МТС айдау (терригендік тау жынысы, k=100мД, қабаттың температурасы 90°С, саз құрамы 5-36%) ешқандай әсерлерін тигізбеді, автор бұны гидрофильді жыныстың дымқылданумен байланыстырады. Батыс Африкадағы кен орнында қалдық мұнай қаныгу коэффициентін өлшеу бойынша зерттеу жүргізілді [30]. Сынақ нәтижелері зертханалық эксперименттерден ерекшеленді, ББЗ айдау МТС қарағанда көп әсер берді. МТС төмен тиімділігін жыныстың минералогиялық құрамымен, атап айтқанда сазды бөлшектердің аз құрамымен байланыстырады.

Үлкен Бұрған (Кувейт) мұнай кен орнын су айдау кезінде терриген шөгіндісінде МТС айдалғаннан кейін мұнайдың 24% - ға дейін қосымша өсімі алынды [31]. Бұл ретте судың минерализациясы жыныстағы саздың төмен мөлшері 5 г/л шамасында болды.

Вайоминг штатының (АҚШ) 26 кен орнында минерализациясы төмен су айдау қандай да бір нәтиже бермеген [32]. Сондай-ақ, «Burbank», «Loudon» (АҚШ) кен орындарында минерализациясы төмен суды айдағаннан кейін мұнай бергіштік мен судың минералдану қатынасы арасында ешқандай корреляция болған жоқ.

Іс жүзінде барлық терригенді жыныстарында жыныстың бөлшектерін жабатын сазды минералдар бар. Карбонатты жыныстардың құрамында саз болуы мүмкін, бірақ олар негізінен су қиындықпен өтетін жыныстың матрицасында ұсталады. Саз құрамы 5% - дан аспайтын құмтас таза құм деп аталады. Саз минералдарына каолинит, монтмориллонит, гидрослюда, хлорит және иллит жатады. МТС айдау кезінде мұнай-тау жынысы-қабаттық су жүйесінде белгіленген термодинамикалық тепе-теңдік бұзылады және мұнай бергіштікге қажетті әсер ететін жыныстың артқаны өзгереді. Бұл процесс кезінде қабаттың температурасы үлкен рөл атқарады, өйткені жоғары температурада химиялық реакциялар жылдам өтеді. Зертханалық жағдайда құмтас жыныстарының үлгілері үшін минерализациясы әртүрлі су айдау бойынша зерттеулер жүргізілді. Бұл ретте жоғары минерализацияланған суды айдаған кезде мұнайдың 15% - ға дейін қосымша өсімі алынды, ал МТС айдаған кезде мұнай бергіштік коэффициенті азайды, бұл саздың ісіну салдары ретінде түсіндіреді [33]. Мұнай бергіштікті арттырудың екінші және үшінші әдісі ретінде Berea құмынан (75ºС температурада өткізгіштігі 200 мД) керндерін су айдау арқылы мұнай бергіштікге МТС әсері зерттелді [34]. Тәжірибе көрсеткендей, NaCl тұздарының судағы концентрациясы 8 г/л мұнай бергіштікге әсер етпеді, ал 1,5 г/л NaCl мұнай бергіштіктің 29% - ға дейін айтарлықтай артуын туындатқан. Аляска (Alaska North Slope) кен орындары үшін МТС қолдану мүмкіндігі зерттелді [35]. Кернді су айдау бойынша эксперименттер жүргізілді. Айдалатын судың тұздылығы 22-ден 5,5 г/л-ге дейін төмендеген кезде қалдық мұнай қанығу коэффициенті 46-дан 38% - ға дейін төмендеді, ал минерализациясы соңғы 0,06 г/л-ге мәндерге дейін төмендеген кезде қосымша мұнайдың 28% алынды. Сондай-ақ МТС айдау әсері 2г/л белгісінде байқалды.

Байланысқан және айдалатын судың минерализациясы жыныстың дымқылдануына және қабаттық температура кезінде қабаттың мұнай бергіштігіне әсер етеді. Қабаттың жоғары температурасы кезінде айдалатын және байланысты судың минеерализацияның төмендеуі қабаттың дымқылдануын арттырады, оны неғұрлым гидрофильді етеді. 20 және 40г/л NaCl минералдандырумен бірге екінші және үшінші су айдау режимінде Berea тау жынысының үлгілерінде кернді және сланец құмтастарды сумен айдау жолымен жүреді. Қосымша мұнай өндіру минералдану 10 г/л дейін төмендеген кезде алынды. Бұл ретте температура жоғары болса, мұнай бергіштік соғұрлым көп болды.

Тау жынысы жүйесінің өзара әрекеттесуі - мұнай - су МТС айдау кезіндегі нәтижеге тікелей әсер етеді. Керн үлгілерін сумен сіңдіру бойынша тәжірибелер кернді 10х қабат суына қатынаста араластырылған мұнай бергіштік 16% - ды құрағанын, ал 100х қатынаста араластырылған қабат суына мұнай бергіштік 29% - ға тең екенін көрсетті [35].

Минерализациясы төмен суды айдау нәтижесінде 214 керн үлгілерінде кезінде қайталама режимде және 188 кезінде үштік режимде су айдаудың оң әсері көрінді [36]. МТС құмнан жасалған керннен екінші режимде үшінші

режимге қарағанда мұнай бергіштік 14% - ға артық алынды. Бұл ретте айдау кезінде қысымның төмендеуі, pH жоғарылауы және саздың ісінуі байқалды.

Солтүстік теңіз шельфіндегі кен орнынан кернді су айдау бойынша эксперимент жүргізілді [38]. Олар МЖС (минерализациясы жоғары су) айдау поршеньді ығыстыруға ықпал етеді деген қорытындыға келді, ал МТС айдау оң нәтиже алу үшін ұзақ уақытты қажет етеді. Зерттеу нәтижелері, сондай-ақ МЖС жыныстың гидрофильділігін арттыруға ықпал ететінін көрсетті, ал МТС керісінше, жыныстың гидрофильділігін төмендетеді, бірақ кейбір зерттеу нәтижелеріне қайшы келеді. Олар сондай-ақ дымқылданудың өзгеруі жыныстың сазды бетіндегі ион алмасу процестерінің нәтижесінде орын алатынын атап өтті. Құмтас керндерінің үлгілерін өздігінен сіңдіру жолымен жыныстың дымқылдануына айдалатын судың әсері зерттелді. Судағы Ca^{2+} катиондарының көбеюі жыныстың гидрофобтылығына әкеледі деген қорытындыға келді. Сондай-ақ, олар айдалатын судағы NaCl концентрациясы жоғары минералдандырылған суды айдау кезінде диваленттi катиондардың құрамы төмен және төмен минералдандырылған суды айдау кезінде жоғары болған кезде қабаттың мұнай бергіштікін арттыратынын атап өтті. Зерттеулер гидрофобты коллекторларда МТС айдау мұнай бергіштікті ұлғайтатынын көрсетті. "Салым" (Ресей) кен орнында МТС қолдану бойынша зерттеулер жүргізілді [39]. Кернді өздігінен сіңдіру бойынша зертханалық зерттеулер жүргізілді. Гидрофильділік жағына салыстырмалы фазалық өткізгіштікті өзгерту және қалдық мұнайға қанығу мөлшерін азайту арқылы МТС қолданудан оң нәтижелер алды. Бұл ретте мұнай бергіштік екінші рет су басқан кезде 4% - ға және үшінші рет су басқан кезде 1,7% - ға артты.

3 Карбонатты жыныстарда МТС қолдану

Карбонатты тау жыныстарда, қабат және қабаттық сулардағы әктас пен бор керн үлгілерін сіңдіру бойынша зерттеулер жүргізгеннен кейін жоғары температурада сульфат иондары (SO_4^{2-}) аралас жыныстың дымқылданудың арқасында гидрофильді күйге ауыстырады деген қорытындыға келді. Ол қабаттық және қабат суын айдауын салыстырды және қабат суын айдау кезінде мұнай бергіштік 60% - ға дейін өсті. "Ekofisk" (Солтүстік теңіз, Норвегия, к=5 мД, $T_{каб}$= 120°C) кен орнының бордан жасалған керн үлгісінің дымқылдануы зерттелді. Олар дымқылданудың өзгеруі суда Ca^{2+} және SO_4^{2-}, Mg^{2+} және SO_4^{2-} -болғанда орын алатынын анықтады [40].

Құрамында сульфаты бар қабат суының керндегі мұнайды ығыстыруға әсері зерттелді. Зерттеу нәтижелері минерализациясы төмен қабат суын айдау кезінде мұнай бергіштік 15% - ға дейін артқанын көрсетті [41]. Жыныстың дымқылдануының өзгеруі және жыныстың бетіндегі сульфаттың адсорбциясы бор мен әктас үшін бірдей болды. Әктас керн (k=10 Д) 2% KCl^{+} 2% NaCl ерітіндісімен айдалғаннан кейін мұнай бергіштік 32% құрады, 2% NaCl айдау кезінде - 29% , ал 2% KCl айдау кезінде мұнай бергіштік 35,5% өсті [42]. Бұл тау жыныстың дымқылдануының өзгеру механизмімен түсіндірілді. Карбонатты керн (k=50 мД) қабат суымен және тұщы қабат суының

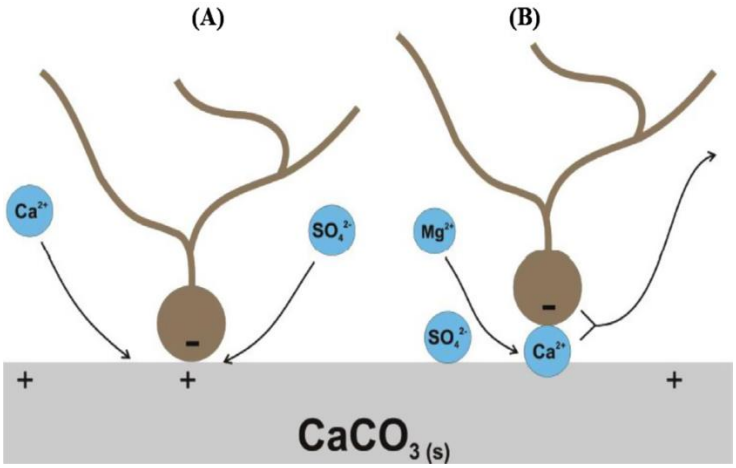
ерітіндісімен әр түрлі арақатынаста су айдау бойынша зерттеулер жүргізіліп, маңызды нәтижелер алынды. Қабат суының концентрациясы біртіндеп азайған кезде, мұнай бергіштік біртіндеп артқан, бұл ретте қабат суымен қатынаста суды айдағанда карбонатты жыныстың дымқылдануы өзгереді және ол гидрофильді болады. Мұнай бойынша соңғы өсім 18% - ды құрады. Батыс Техас доломитінен Керн мен Таяу Шығыстан әктас жасау жөнінде бірқатар эксперименттер жүргізді [43]. Зертеу нәтижелері сульфат иондарын қосқаннан кейін мұнай бойынша 5-9% қосымша өсім берді. Олар сондай-ақ борат (BO_3^{3-}) және фосфат (PO_4^{3-}) қосылғаннан кейін маңызды нәтижелер алды, мұнай бергіштік 15 және 20% өсті. Оның үстіне ортаның pH артты. Әр түрлі температуралық режимде МТС мұнай бергіштікке әсерін зерттеу үшін кернді су айдау бойынша зерттеулер жүргізілді. Нәтижесінде қандай да бір оң нәтиже алынған жоқ. Бірақ жоғары температура мен үлкен қысым градиенті кезінде мұнай өндіру артты. Бұл үлкен градиенттер кезінде жыныстың бетінен ұсақ бөлшектерді ажырату (бөлу) және жоғары өткізбейтін арналардың бітелуімен түсіндіріледі.

Керн сіңдіру және су айдау жолымен минералдардың әртүрлі концентрациясы бар су зерттелді [44]. Дымқылдану бұрышын өлшей отырып және 120°С температурада әк тастан жасалған керн үлгісінде иондардың концентрациясын талдай отырып, автор құрамында Mg^{2+} и SO^{2-} ионы бар қабат суы ғана жыныстың гидрофильге өзгертетінін анықтады. Бұл ион алмасу және минералдардың еруі, жыныстың бетінен органикалық қышқылдардың десорбциясына жауапты, сол арқылы дымқылданудың өзгерген деп түсіндірілді. Алайда, Ca^{2+} иондары бар қабат суы қандай да бір әсер бермеді. Минерализация концентрациясы 19%- дан 0,5% - ға дейін төмендетілген қатынаста араластырылған қабат суы зерттелді. Карбонатты кернге айдалғаннан кейін мұнай бергіштік мөлшері 3-тен 84,5% - ға дейін артты. Бұл жыныстың гидрофильден бейтарап түріне дейін өзгеретініне байланысты [45]. Сондай - ақ, олар SO^{2-} сульфаттарының концентрациясының артуы оң әсер береді, ал құрамындағы Ca^{2+} теріс әсер ететінін дәлелдеді. Сульфаттар иондарының мұнай бергіштікке әсерін зерттеп, сульфат иондарының жоғары концентрациясы мұнай өндірудің белгілі бір деңгейге дейін өсуіне әкеледі. Ол сульфат иондарының оңтайлы концентрациясын 4 есе үлкен суда әсер алу үшін ұсынылды [46].

Карбонатты кернді (әктас, кеуектілік 20%, к=200 мД) 90°С температура кезінде айдау бойынша зертханалық зерттеулер жүргізілді[47]. Айдау жылдамдығы - 2 $см^3$/мин, қабаттық судың минералдануы - 230 г/л. Бірінші экспериментте қабат суы, содан кейін тазартылған және соңында 50% қабат суының ерітіндісі айдалды. Мұнай бергіштік дистилденген суды айдағанда күрт өсті. Екінші зерттеуде 0,5%-дық $CaCl_2 \bullet 2H_2O$, $MgCl_2 \bullet 6H_2O$ және Na_2SO_4 ерітінділер жүйелі түрде сорылды .Зерттеу нәтижелері қабат суын айдау кезінде мұнай бергіштікті екінші рет ығыстыру кезінде 50% тең екенін көрсетті. Дистилденген суға дейін минерализацияның күрт төмендеуі мұнай бергіштікке айтарлықтай әсер етеді, Ca^{2+}, Mg^{2+}, және SO_4^{2-} иондары әктасты айдауда үлкен рөл атқарады.

Карбонатты қабаттарда мұнай бергіштікті арттырудың негізгі механизмі болып айдалатын судағы түрлі иондардың өзара әрекеттесуінен дымқылданудың өзгеруі болады. Дымқылданған жыныстың бетінде зарядтың өзгеруі немесе ұсақ бөлшектердің еруі салдарынан өзгеруі мүмкін. Құрамында сульфаты бар катион активті беттік-белсенді заттары бар бордан кернді, су доломитін сіңдіру бойынша эксперименттерінде ББЗ бар суда сульфаттардың болуы жоғары температура мен тұз концентрациясы кезінде сіңдіру жылдамдығын 1 г/л арттыратынын атап өтілді. Сульфат сіңдіру жылдамдығының катализаторы ретінде жыныстың бетіне тартылады, беті теріс зарядталған. Ол сульфат катионды ББЗ пен бірге жыныстың дымқылдануын өзгертіп, оны гидрофильді етеді деген қорытындыға келді. Сульфат бетінің зарядын өзгерте отырып, жыныстың бетінен карбоксильді топтың итерілуін тудырып су суланатындай етеді. Дымқылданудың өзгеруінен басқа, ББЗ беттік керілуін төмендетеді. Сульфаттарды қолдану бойынша шектеулер бар, $CaSO_4$ түрінде тұнба пайда болмау үшін қабаттық суда Ca^{2+} концентрациясын білу қажет.

3.1 суретте қабат суын айдау кезінде тау жыныстарының үстіңгі қабатының дымқылдануды өзгерту процесінің сипаттамасы көрсетілген. Бұл нәтижелер көптеген зертханалық эксперименттер негізінде алынды [48]. Бастапқыда жыныстың беті оң зарядталған, өйткені кальцийдің қабаттық судағы жоғары концентрациясы Mg^{2+} және pH<8. Бұл ретте теріс зарядталған SO_4^{2-} иондарының саны елеусіз. Қабаттан суды айдау адсорбцияға, SO_4^{2-} иондарының бетінде әсер етеді, яғни беттің оң зарядын төмендетеді. Электростатикалық итергіштің салдарынан беткі жанындағы Ca^{2+} концентрациясы жоғарылайды, Ca^{2+} карбоксильді топты байланыстырады және оны бетінен босатады. Температураның артуымен жыныстың бетінде SO_4^{2-}, Ca^{2+} иондарының саны артады. Mg^{2+} жоғары температураларда Ca^{2+} жыныстардан ығыстыруға қабілетті болғандықтан, ол оны карбоксильді топпен Ca^{2+} қосылғанда да ығыстыра алады.



3.1 сурет - Карбонатты жыныс бетінің қабат суымен айдағанда дымқылдануды процесінің суреті [48]

Жоғарыда аталған механизмдер келесі химиялық реакциямен сипатталуы мүмкін.

$$R\text{-}COO^{-} - Ca - CaCO_3 + Ca^{2+} + SO_4^{2-} \rightarrow R\text{-}COO - Ca^{+} + Ca - CaCO_3 + SO_4^{2-}$$

Бұл реакцияда сульфат жыныстың бетінде кальций иондарының концентрациясын арттыра отырып, катализатор рөлін атқарады. Қабат суын айдау кезінде карбонатты жыныстардағы мұнай бергіштікті арттырудың негізгі механизмі олардың құрамында Ca^{2+}, SO_4^{2-} және Mg^{2+} иондарының бар болуы, олар жыныстың дымқылдануын өзгерте алады, олардан мұнайдың адсорбцияланған карбоксильді топтарын жұлып алады, бұл мұнай бергіштікке қажетті әсерін тигізеді. Тиімділік қабаттың температурасы 90°С кезінде артады. Мұнайдың қосымша өсімі беттік керілуінің төмендеуінен емес, жыныстың дымқылдануының өзгеруі есебінен болады. Мұндай қорытындыға, беткейлік керілуді және қабаттық жағдайларда дымқылданудың жанасу бұрышын өлшеуден кейін келді. Бұдан әрі карбонатты жыныспен (бор) қабат суы компоненттерінің химиялық өзара әрекеттесуі бордың механикалық беріктігіне әсер ететіні көрсетіледі. Бұл SO_4^{2-} және Mg^{2+} болуы салдарынан болады.

Нәтижелердің көрсетуі бойынша айдалатын судың минерализациясының төмендеуінен мұнайды ығыстыру тиімділігіне фазааралық керілу әсері шамалы екенін көрсетті. Ядролық магнитті томографтағы зерттеулер көрсеткендей, жыныстың дымқылдануы карбонатты жыныстардағы мұнай бергіштікті арттырудың негізгі механизмі болып табылады. Төмен минерализацияланған су айдау зерттеулері судың минерализациясымен оның композициялық құрамы тұрғысынан бор үлгілерінде зерттеуден ерекшеленеді.

Қабаттық су мен мұнайдың қысымы, температурасы және химиялық құрамы жыныстың дымқылдануы мен жыныстың бөлшектерінің еруі өзгерген кезде үлкен рөл атқарады. Ca^{2+}, SO_4^{2-} және Mg^{2+} иондары молекулалық диффузия арқылы тау жынысы матрицасына енуі байқалады[49]. Содан кейін, су мен жыныстың беті арасындағы химиялық реакцияларға байланысты термодинамикалық тепе-теңдік бұзылады, яғни жыныстың беті ериді және үстіңгі зарядтың өзгеруі, тиісінше дымқыладнуы өзгереді.

Қабат суын әк тасты кернге 130ºС температурада айдағанда Ca^{2+} концентрациясы артты, ал Mg^{2+} - азайды. Бұл ретте SO_4^{2} концентрациясы өзгерген жоқ, бұл $CaSO_4$ аздаған шөгіндісі туралы айтады. Айдалатын судың қаттылығын төмендету үшін Ca^{2+} және Mg^{2+} қосылады. Бұл CaCO3 ерігіштігімен және Ca^{2+} Mg^{2+} - ге ауыстырумен байланысты. Mg^{2+} SO_4^{2} болуы- Ca^{2+} Mg^{2+} алмастыру жылдамдығын арттырады. Ca^{2+} ны Mg^{2+} ға ауыстыру карбонатты жыныстағы кернеудің және механикалық беріктіктің төмендеуін өзгертеді. МТС-ны мұнай бергіштікті арттырудың екінші және үшінші әдісі ретінде қолдану мұнай бойынша 14% - ға дейін өсім беретіні көрсетілді [50]. Бұл ретте 10:1 және 100: 1 қатынасында қабат суының ерітіндісі қолданылды. 10:1 ерітіндісі мұнай өсімінің 10% дейін берді.

Тау жыныстарының үстіңгі қабатының дымқылданудың өзгеруіне айдалатын судағы иондардың концентрациясының артуы, SO_4^{2-}, BO_3^3 и фосфаттың (PO_4^3) қосылуы және оның иондық күшінің төмендеуі есебінен қол жеткізуге болады. Керн сіңдіру бойынша зерттеулер нәтижелері бойынша мұнайдың 4-тен 20% - ға дейін қосымша өсімі берілді. Сондай-ақ, мұнайдың қосымша артуы суға сульфат - иондарды қосу арқылы алынды. Оман кенорындарынан керн үлгілеріне су айдау және сіңдіру барысында фазааралық тартылу шамалы төмендеуі мен жыныстың дымқылдану өзгерісін байқалғандығы айтылады [51].

Көптеген зерттеушілер pH маңыздылығын көрсетеді, өйткені ол беттік белсенді заттардың генерациясына ықпал етеді. Дегенмен, pH артуы зарядтау беті мен қос электр қабаты артқан кезде болады. Осылайша, жынысты ұсақтау өзгереді және мұнай бергіштік артады[7].

МТС пайдалану кезінде артқан гидрофобтан бейтарап болып өзгереді, ал ББЗ одан әрі қолданылуы оны гидрофильді етеді. Беттік керілуін өлшеу айдалатын судың минерализациясының төмендеуімен артуын көрсетті. Иондар концентрациясын өлшеу Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^{+}, SO_4^{2-} сондай-ақ олардың төмендеуін көрсетті. Бұл жыныстың бетінде мульти иондық алмасуды көрсетеді. Электрокинетикалық потенциал мен минерализациясы төмен сумен суланғаннан кейін әктас пен доломит жыныстарының үлгілерінде дымқылданудың жанасу бұрышын өлшеу бойынша зерттеулер жүргізілді. Дымқылдануды өзгертудің негізгі механизмі жыныстар мен мұнай арасындағы электростатикалық өзара әрекеттесуіне байланысты үстіңгі қабаттың заряды болып табылады. Тау жыныстарының минералогиясы да маңызды рөл атқарады, өйткені су айдау бұрышының және доломиттегі потенциал мәні әктаспен салыстырғанда аз болды. Тау жынысыдағы ангидрит құрамының МТС су айдауға әсері зерттелді. Ол жынысты су айдау тиімділігі сульфат құрамының артуына және NaCl төмендеуіне байланысты екенін атап өтілді. Жыныстың үстіңгі қабатының дымқылдануының өзгеруі полярлық көмірсутекті компоненттер, жыныстың минералды беттері мен айдалатын судың құрамындағы иондардың реакциялық қабілеті арасындағы байланыс күшіне байланысты. Авторлар қабаттың жоғары температурасында Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^{+}, SO_4^{2-} иондарын арттыру арқылы карбонатты тау жынысыға әсер етуді ұсынады.

Минерализациясы төмен су айдау үшін судың химиялық құрамының маңыздылығын атап көрсетілді [52] . Бұл ретте натрий мен хлор иондарының деңгейін төмендету қажеттілігі көрсетіледі, өйткені олар ионалмасу процестеріне кедергі келтіреді. Терригендік қабаттарды мұнай бергіштікті артуы үшін саздың ісінуі болмас үшін диваленттік катиондардың аз мөлшері бар 5 г/л минералдандырылған суды пайдалану ұсынылды. Карбонатты жыныстар үшін орташа және төмен минералдар (тиісінше 28 және 6 г/л) бар қатынаста араластырылған (10 есе) қабат суы қажетті.

Әдетте, өндірісте, зауытта болған кезде операторлар олардың коррозиялық белсенділігі мен шөгінді түзілуіне байланысты судан сульфаттарды жоюға тырысады. Барий ионы және қабаттық судағы стронция

сульфаттармен тығыздалған суда өзара әрекеттескен кезде ерімейтін тұздар түзеді, бұл ретте көптеген проблемалар туындатады. Тұнба түзілу тежегіштерін пайдалану көп көңіл бөлуді және мониторингті талап етеді. Сонымен қатар, күкіртсутекті өндіретін сульфатродукциялық бактериялар дамуы мүмкін. Бірақ түрлі биоцидтерді қолдануға болады. Дегенмен, қосымша мұнай өндіру ингибиторлар мен биоцидтерге арналған қосымша шығындарды өтеуге тиіс.

4 Терригенді және карбонатты қабаттарға минерализациясы төмен суды айдауды салыстырмалы түрде талдау

Іс жүзінде барлық терриген жыныстарында қабат бетінде сазды минералдар бар екені белгілі. Карбонатты жыныстардың құрамында саз болуы мүмкін, бірақ олар негізінен су қиындықпен өтетін матрицасында болады. Саз құрамы 5% аспайтын құмдар таза құм деп аталады. Саз минералдарына каолинит, монтмориллонит, гидрослюда, хлорит және иллит жатады. Жалпы, мұнайдың теріс зарядталған полярлық компоненттері мен карбонатты қабаттардағы оң зарядталған жыныстың арасындағы байланыс мұнай компоненті мен теріс зарядталған жыныстың арасындағы байланысқа қарағанда күштірек болады. Сондықтан байланысты үзу үшін судағы иондарды арттыру арқылы беттік реакцияны жеделдету қажет.

МТС айдау кезінде мұнай-тау жынысы-қабаттық су жүйесінде орнатылған термодинамикалық тепе-теңдік бұзылады. Бұл ретте мұнай беруге қажетті әсер ететін жыныстың дымқылдануы өзгереді. МТС айдау процесіне қабаттың температурасы үлкен әсер етеді, өйткені жоғары температурада химиялық реакциялар жылдам өтеді. Құмтас жыныстарының керн үлгілері үшін тұщы сумен салыстырғанда қабат суын айдау бойынша зерттеулер жүргізілді. Бұл ретте тұзды суды айдаған кезде 15% - ға дейін қосымша мұнайдың алынды, ал тұщы суды айдаған кезде МБК азайды.

Карбонатты жыныстарда теңіз суын айдау кезінде суға иондарды қосу арқылы дымқылданудың өзгеруін жасауға болады. Бірақ терригенді жыныстары үшін дымқылдануын өзгерту үшін 5 г/л төмен минералдандырылған су қажет. 4.1-кестеде карбонатты және құмтас жыныстардың салыстырмалы кестесі берілген. Карбонатты және терригендік жыныстардың кернін су айдау бойынша зертханалық зерттеулердің нәтижелері көрсетілген. Қосымша өндіру стандартты жағдайларға қарағанда, қабаттық жағдайларда суды айдау кезінде айқын көрінеді. Терригендік және карбонатты жыныстар үшін минерализациясы төмен суды айдау әсері қабаттық және айдалатын сулардың минерализациясының үлкен айырмашылығында байқалады. Екінші реттік су айдау режимі кезінде мұнай өндіру үшінші реттік су айдаудан көп.

4.1 кесте – Құмтас тау жыныстарындағы негізгі су айдау эксперименттерінің қорытындысы

Құмтас керн үлгісі					
Әдебиет	Т, ºС	С,МТС, г/л	С ҚС, г/л	μ, мПа*с	$К_{ығыс}$, %
1	2	3	4	5	6
Webb және басқалар (2005) [20]	-	2	250	-	14
Zhang және басқалар (2007) [7]	75	2	30	20	29
Patil және басқалар. (2008) [8]	93	0,05-5,5	22	-	14-28
Agbalaka және басқалар (2009) [35]	80	10	40	9	6
Rivet және басқалар (2010) [42]	55	1	31	8	15
Gamage және басқалар (2011) [16]	-	10	-	12	15
Fjelde және басқалар (2012) [17]	80	0,1-1	105	2	9
Suijkerbuijk және басқалар (2014) [38]	87	-	-	3	6

4.2 кесте - Карбонатты тау-жыныстардағы негізгі су айдау эксперименттерінің қорытынды кестесі

Карбонатты керн үлгісі					
Әдебиет	Т, ºС	С, МТС, г/л	С ПВ, г/л	μ, мПаºС	Кғыс, %
1		3	4	5	6
Bagci және басқалар (2001) [53]	50	10-40	-	46	14
Yousef және басқалар (2011) [2]	100	0,5-28	200	2	18
Zahid және басқалар (2012) [51]	90	3–30	213	4	15
Chandrasekhar және басқалар (2013) [47]	120	0,8-2	180	1	40
Al-Attar және басқалар (2013) [48]	25	1–5	200	3	21
Awolayo және басқалар (2014) [49]	110	43	260	2	10
Alameri және басқалар (2015) [52]	90	1–26	100	3	7

5 Минерализациясы төмен суды айдаудың қолдану критерийлері (шарттары)

Әдебиеттердің шолуы нәтижесінде минерализациясы төмен судың карбонатты және терригенді тау жыныстарына айдағанда келесі заңдылықтар анықталды:

1. Құмтас жыныстарды МТС айдаудың сәттілігі оның құрамында саз болуы қажет;

2. Мұнай құрамында полярлық компоненттер болуы тиіс (қышқылды немесе негізді заттар);

3.Қабат суының құрамында дивалентті катиондар болуы тиіс. Мысалы: Ca^{2+}, Mg^{2+}.

4. Минерализациясы төмен судың минерализациясы 1-2 г/л дейін болу керек. Бірақ МТС әсері 5г/л концентрациясында да байқалған және ол иондық композицияға сезимтал болып келеді;

5. Шыққын судың pH мөлшері МТС айдағанда 3ке артатыны байқалды. Бірақ мұны тағы қосымша зерттеулер жасап тексеру қажет. Кейбір жағдайларда саздың қалдықтары болмаса да, МТС әсері байқалады.

6. Қабаттың өткізгкіштігі айдап жатқан судың минерализациясын алмастырғанда кернде қысым айырмашылығы байқалады. Ол өткізгіштіктің өзгеруінің белгісі.

7. Температура бойынша әдеби шолу нәтижесінде шекті мәндері жоқ екені анықталды. Біра көп зерттеулер 100 ºС төменгі температурада жасалды.

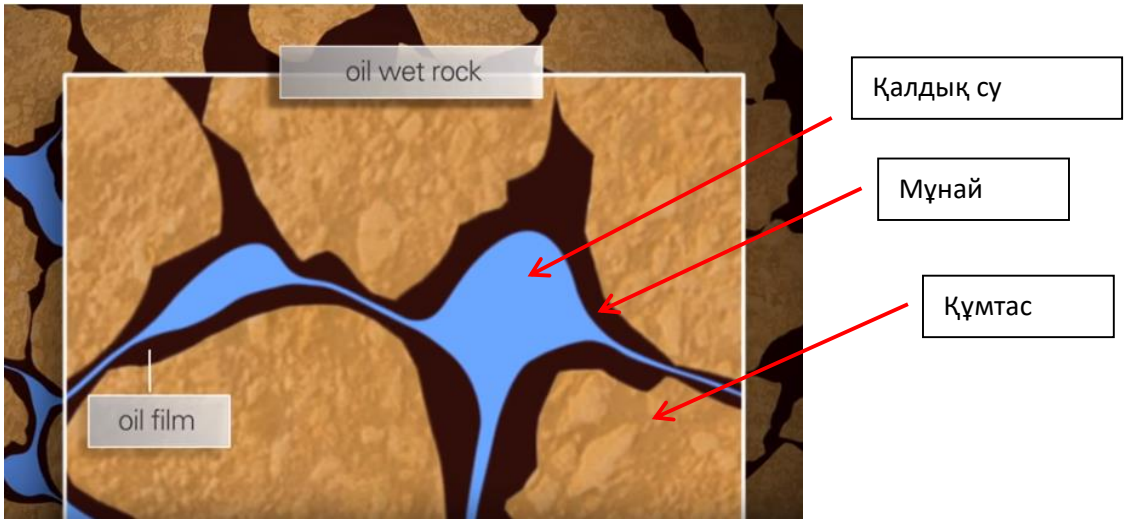
6 Мұнайды ығыстырудың негізгі механизмін есептеу

Мұнай ығыстыруды жақсартатын кез келген технологияның тиімдлігінің бірден бір көрсеткіші микроскопиялық шамада мұнай қалдықтарын жыныстарыдң бетінен шаю болып табылады. Микроскопиялық ығыстыру коэффициенті E_D осы процесстердің жақсы немесе жаман болуын анықтайды. Мұнай үшін E_D коэффициенті тікелей қалдық мұнай S_{or} коэффициентінің итеріп жатқан сұйықтықтың байланыс жеріне тәуелді (процесстің соңындағы қалып қалған мұнайдың шамасы). Себебі мұнайды ығыстыруды жақсартатын кез - келген процесс әр түрлі сұйықтықтарды айдауды талап етеді, сондықтан бұл сұйықтықтарды танып білу өте маңызды. Егер басында бұл сұйықтықтардың тиімділігі төмен болса, кейін теріс нәтижеге әкеліп соғуы мүмкін.

Микроскопиялық мұнай ығыстырудың тиімділігіне әсер ететін параметрлер: дымқылдану, капиллярлық қысым, беттік керілу күші.

Сұйықтықтың капиллярлық және тұтқырлық күштері фазалардың қамалып қалуына және олардың кеуекті ортада қозғалсына әсерін тигізіп, микроскопиялық ығыстыру шамасын төмендетеді. Сондықтан бұл күштерді түсіну және шамаларын бағалау мұнайды ығыстыруды механизмдерін түсінуге керек.

Кеуекті ортада кез келген араласа алатын сұйықтықтар болатын болса, онда олардың беттік керіліс күштері олардың қанығу коэффициентіне, таралуына және ығысуына әсерін тигізеді (6.1 сурет).



6.1 сурет – Қабаттағы фазалардың орналасуы

Бұл суретте көрсетілгендей қабатта су айдамай жатып судың бір шамасы болады. Бұл кезде судың қозғалуы болмаса да ол мұнайдың қозғалуына әсерін тигізеді. Егер судың үлесі шамадан көп болған жағдайда ол қозғалып мұнайдың жолын бөгеуі мүмкін. Мұнайды ығыстыру технологияларының көптеген түрлерінде мұнаймен араласатын сұйықтықтар айдалады, сондықтан

олардың беттік керілу күштерін анықтау немесе есептеп білу өте маңызды болып табылады.

Сұйықтықтардың бетіндегі молекулалар барлық бағытта бірдей таралған себебі олардың байланыс күштері қозғалуға еш әсерін тигізбейді. Ал беттен төмен жатқандықтан молекулаларда қатты байланыс күштері болмайды. Сондықтан сұйықтықтың беті тартылған мембрана сияқты әрекет етеді де барынша беттік қозғалысты қысқартуға тырысады.

Беттік күш керілу күш болғандықтан, беттің керілу күшімен σ сипатталады. Бұл күш F беттің бірлік ұзындығына L әсер ететін күш болып табылады. Ол күш бетке нормаль болып әсер етеді. Осы күш беттің ауданына тарағанда беттік керілу күші деп аталады және оның өлшем бірлігі дин/см. Керілу күші жаңа бет ауданын құру үшін жұмсалады. Мысалы σ күші беттің ауданына әсер еткенде келесі жұмыс жасалады:

$$W = \sigma dA \qquad (6.1)$$

мұндағы: σ - беттің керілу күші, дин/см; dA – жаңа беттің ауданы, см^2. Сондықтан жаңа бет құрау үшін жұмсалатын жұмыс тікелей σ пропорционал.

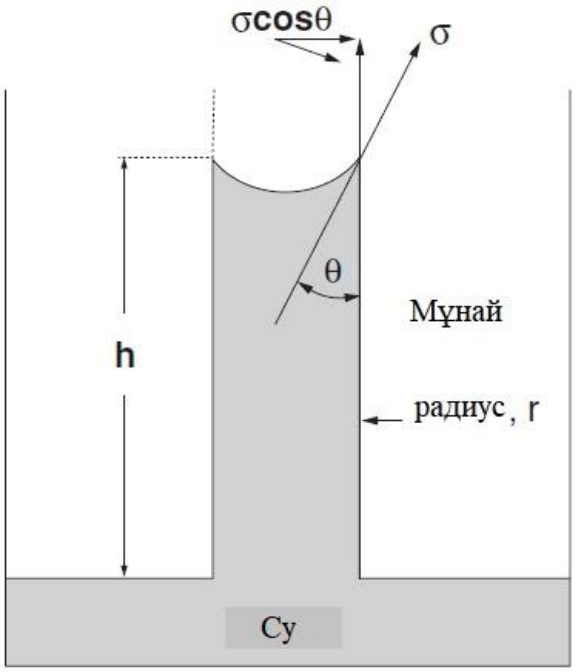
Егер екі сұйықтықтың арасында бет пайда болса онда фазааралық керілу күші пайда болады. Мысалы, су мен көмірсутек арасында бөлме температурасында 30 – 50 дин/см беттік керілу күші пайда болады. Фазааралық күшпен беттік керілу күштері температурага қатты тәуелді күш болып табылады.

Беттік керілу күшін өлшеудің ең қарапайым жолы капиллярлық түтіктерді пайдалану болып табылады. Радиусы r болып табылатын капиллярлық түтік суы бар тостағанға салған кезде су капиллярлық түтік ішінде менисктің жан жағындағы түрлі күштердің айырмашылығынан пайда болатын себептен белгілі бір биіктікке h көтеріледі. Статикалық жағдайда керілу күші сұйықтықтың колоннасына әсер ететін гравитациялық күшпен теңеседі.

Капиллярлы қысым - екі араласпайтын сұйықтық арасындағы қысымның әр айырмашылығы ретінде анықталады, онда бір сұйықтық негізінен шектелген қатты бетке жабысады. Мұнда " шектеулі" бет ретінде капиллярлы түтік сияқты көлденең қиманың шектеулі ауданын айтуға болады. Әдетте, суламайтын (дымқылдамайтын) фазадағы қысым сулайтын (дымқылдайтын) фазасына қарағанда әрқашан көп.

Тау жыныстарының дымқылдануы басқа араласпайтын сұйықтықтардың қатысуымен жыныстың бетіне бір сұйықтықтың таралу немесе жабысу үрдісі ретінде анықталады. Қабат жынысының дымқылдануы қалдық мұнайға қанығушылықты және МТС айдау кезінде мұнай алу коэффициентін анықтауда маңызды рөл атқарады. Дымқылдану жанасу бұрышы арқылы сипатталады. Мұнай - су жүйесі үшін, егер де жанасу бұрышы (0-75º) болса, онда сумен дымқылданған, (75-115º) аралас және (115 - 180º) мұнаймен дымқылданады.

Жыныстың беті ретінде құмтастың екі түрін және үш түрлі минерализацияланған суды пайдалана отырып, жанасу бұрышын өлшеуге әсерін тигізетін зерттеу жұмысы жасалынды. Зерттеу нәтижесінде, судың минерализациясы жыныстың дымқылдануына елеулі әсер ететінін хабарлады [43].



6.2 сурет – Капиллярлық түтік

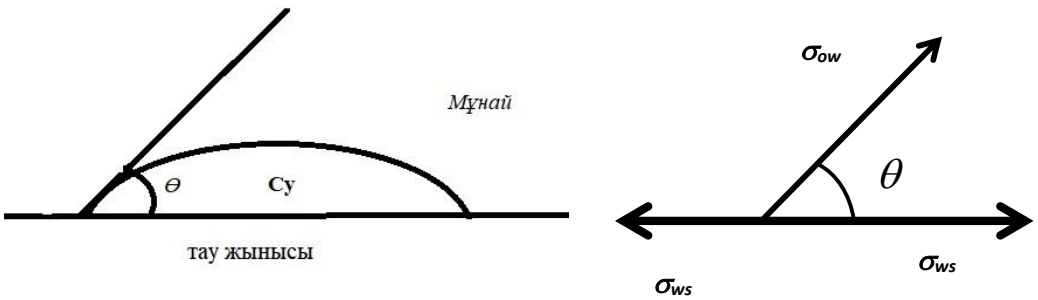
Бұл жүйеде күштердің барлығы тепе-теңдікте болады:

$$\sum F_y = 0$$
$$F_{кк} - F_{ак} = 0, \qquad (6.2)$$
$$F_{кк} = F_{ак}$$

Мұндағы, $F_{кк}$ - керілу күші; $F_{ак}$ - ауырлық күші.

$$F_{кк} = A_к(2\pi r) \qquad (6.3)$$

$A_к$ -керілу күші, дин/см; $2\pi r$ - түтікнің ішкі шеңбер ұзындығы.
$A_к$ анықтау үшін келесі диаграмманы қолданамыз:



6.3 сурет – Дымқылдану бұрышы

$$A_к = \sigma_{os} - \sigma_{ws} = \sigma_{ow}\cos\theta \qquad (6.4)$$

(6.4) теңдеуді (6.3) теңдеуге салғанда біз келесі теңдеуді аламыз:

$$F_к = \sigma_{ow}\cos(\theta)2\pi r \qquad (6.5)$$

Ал ауырлық күшінің формуласы келесі түрде беріледі:

$$F_{ак} = (P_w - P_o)A \qquad (6.6)$$

Мұндағы:
$P_w = \rho_w gh$ - судағы гидростатикалық қысым, дин/см^2;
$P_o = \rho_o gh$ - мұнайдағы гидростатикалық қысым, дин/см^2;
A- түтікнің қимасының ауданы, см^2.
Мұндағы индекс *w* және *o* сәйкесінше су және мұнай дегенді білдіреді.
Сонда (2) ші формулаға сәйкес фазааралық тепе-теңдік теңдеуі келесі түрде болады:

$$\sigma_{ow}\cos(\theta)2\pi r = gh(\rho_w - \rho_o)\pi r^2$$
$$gh(\rho_w - \rho_o) = \frac{2\sigma_{ow}\cos(\theta)}{r} \qquad (6.7)$$
$$P_c = \frac{2\sigma_{ow}\cos(\theta)}{r}$$

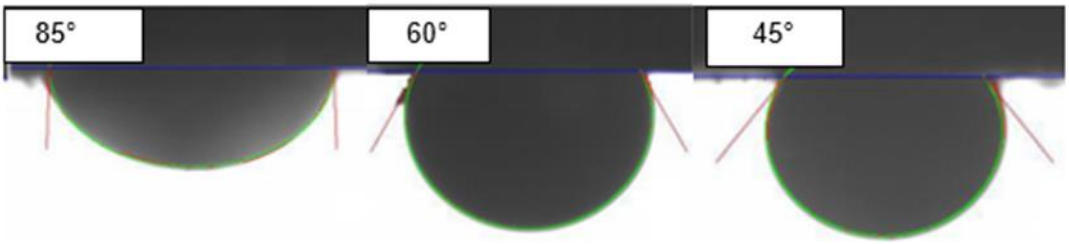
Мұндағы:
Pc = капиллярлы қысым
σ = беттік керілу
θ = жанасу бұрышы
r_c= түтік радиусы
h = интерфейс биіктігі
ρ_w = судың тығыздығы
ρ_o = мұнай тығыздығы.

Демек, капиллярларды үлестіру үшін капиллярлы қысым сулаушы сұйықтықтың (судың) капиллярларға енуіне әкеледі. Капиллярдыағы сұйықтықтың көтерілуі салыстырмалы жағдайы еркін су деңгейіне, яғни нөлдік капиллярлы қысым нүктелеріне қатысты беріледі.

Еркін су - мұнай контактісінің 100% - дан жоғары биіктіктегі түрлі су қанықтығы аймағы өтпелі аймақ деп аталады.Төмендетілмейтін су бар қабат тек көмірсутектерді өндіретін болады, ал әртүрлі су қанықтығының өтпелі аймағы су мен көмірсутектерді өндіретін болады.Өтпелі аймақтағы қисық капиллярлы қысым түрі жыныстың сипатына байланысты болады.

Суланатын сұйықтық еркін деңгейден жоғары болатын биіктік мөлшері мен түрлі кеуектердің көлеміне байланысты капиллярлы қысымға тура пропорционалды. Ол, сондай-ақ, фазааралық керілу менжанасу бұрышының косинусына пропорционал және түтікше радиусы мен сұйықтық тығыздығының айырмашылығына кері пропорционал. Кеуек радиусы аз болған сайын, өткізгіштігі төмендейді және капиллярлы қысым соғұрлым жоғарылайды.

Almeri мен Teklu [51] дымқылданудың өзгеруін жанасу бұрышы арқылы есептеу мақсатында жүргізген минерализациясы 2.5 г/л, 1.2 г/л, 0.7 г/л суды айдау кезіндегі зертханалық зерттеудің нәтижесінеде келесідей жанасу бұрышының шамалы мәндері көрсетілген: 85°, 60°, 45°. Осы зерттеу нәтижесіне сүйене отырып, жанасу бұрышының әр түрлі мәндеріндегі капиллярлық қысымның мұнайды ығыстыруға деген әсерін байқау.

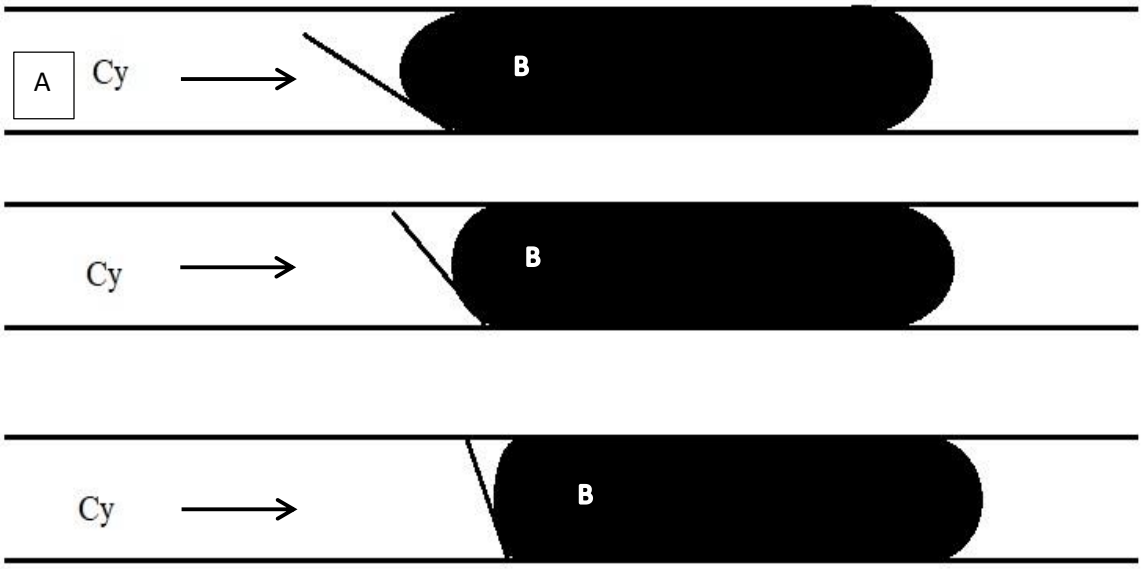


Судың мұнайды капилярлық түтіктен ығыстыруын есептеу үшін келесі шартты қабылдайық:

σ = 45 дин/см;

θ = 30° - 90° дейін өзгереді;

r = 1 – 100мм;



6.4 сурет – Мұнайдың кеуекте МТСпен ығыстыру диаграммасы

Қоғалыс пайда болу үшін су жақтан капилярлы, қысым мұнайдың капилярлық қысымынан басымырақ болу керек. Яғни $P_A > P_B$.

$$P_A = \frac{2\sigma\ \cos(\theta_A)}{r} > P_B = \frac{2\sigma\ \cos(\theta_B)}{r_B}$$

Су жақтан капиллярлық қысым өзгермейді, бирақ минерализациясы төмен су айдағанда тау жыныстың дымқылдануы артып мұнай тамшысы бірте бірте ығыстырыла бастайды.

1. $P_B = \frac{2\sigma\ \cos(\theta_B)}{r_B} = \frac{2\sigma \cos 45^\circ}{0.001} = \frac{2 \cdot 0.00045 \cdot 0.52}{0.001} = 0.468 Pa$

2. $P_B = \frac{2\sigma\ \cos(\theta_B)}{r_B} = \frac{2\sigma \cos 60^\circ}{0.05} = \frac{2 \cdot 0.00045 \cdot 0.5}{0.05} = 0.009 Pa$

3. $P_B = \frac{2\sigma\ \cos(\theta_B)}{r_B} = \frac{2\sigma \cos 85^\circ}{0.1} = \frac{2 \cdot 0.00045 \cdot 0.087}{0.1} = 0.0008 Pa$

Есептеу барысында, біз, мұнайдың капиллярлық қысымының азаюын байқаймыз, сондықтан қысым градиентінің салдарынан қалып қалған мұнай тамшысы ығыстырылады.

Зертханалық зерттеулер нәтижесінде [30] дымқылданудың жанасу бұрышын өзгерте отырып, минерализациясын 3есе төмендету арқылы қосымша мұнайбергіштік 8% - ке өскені көрсетіледі. Айдалатын минерализациялы суды қабат суына қарағанда 3 есе төмен минерализациялы суды кернге айдау арқылы, оның жанасу бұрышы 93°- тен 53°-қа азаяды, яғни мұнаймен дымқылданған ортадан орташа – су мен мұнай бірге дымқылданған ортаға ауысады.

Бүгінгі таңда, үш сандық өлшем қолданылады: жанасу бұрышы, Амотта әдісі және USBM әдісі. Жанасу бұрышы - мұнай мен судың дымқылдануын минералдың жылтыр бетінде өлшейді. Бұл сұйықтықтар мен жасанды керн қолданылғандағы ең тиімді әдіс болып табылады. Ол сондай-ақ қысым, температура, және судың минерализациясы сияқты зертханалық жағдайлардың әсерін қарастыру үшін пайдаланылады. USBM және Amott әдістері тау жыныстың орташа дымқылдануын өлшейді. Аталған екі әдіс табиғи немесе қалпына келтірілген керннің дымқылдануын өлшеген кезде жанасу бұрышының әдісіне байланысты, сондай-ақ керн толық тазартылғандығын анықтау үшін пайдаланылуы тиіс. USBM әдісі Amott әдісінен дәлірек, ол дымқылданудың бейтарап түріне сезімтал емес. Sharma және Wunderlich зерттеген USBM және Amott әдістері дымқылдану индекстерін есептеуге мүмкіндік береді.

Дымқылдануды өлшеудің сапалы әдістері көп. Керн сіңдірту әдісі ең кең қолданылады, себебі ол жылдам, күрделі жабдықты талап етпейді және тау жыныстың орташа дымқылдануы туралы түсінік береді.

Микроскопиялық зерттеу әдісі ағынды визуалды зерттеуде қолданылады. Қажетті мәліметтер болған кезде салыстырмалы өткізгіштіктің қисығына негізделген дымқылдануды өлшеу әдістері жиі қолданылады.

Фракциялық дымқылдануды өлшеу үшін ЯМР әдісі және бояғыш адсорбциясы әдісі қарастырылады. Бірде-бір әдіс қазіргі таңда қолданылмайды.

Демек, зертханалық жағдайда – керн бойынша және нақты бастапқы мәліметтердің болуынан, яғни компьютерлік модельдеу арқылы, мұнай бергіштіктің артуының басты механизмі ретінде таңдалған - жанасу бұрышын өзгерте отырып, дымқылдануды қолайлы жаққа өзгертуге мүмкін екенін байқауға болады. Бұл өз кезегінде, нақты нәтижелер мен бір қорытындыға келу үшін ауқыммды зерттеу жұмыстарын жүргізілуін талап етеді.

7 Экономикалық тиімділікті есептеу

Қаражанбас кен орны 1974 жылы 80 барлау ұңғымаларын бұрғылуадың нәтижесінде ашылған. Оны мұнайы төменгі бормен орта юра дәуірлеріне жатады. Игеру сатысына Қаражанбас кен орны 1980 жылы енгізілді. Қазіргі таңда онда 1600 астам ұңғымалар бұрғалынған.

Қаражанбас кен орны Қазақстан Республикасы Маңғыстау облысының Бузачи түбегінің солтүстік-батыс аумағында орналасқан.

Облыс орталығы – 210 шақырым жерде орналасқан Ақтау қаласымен кен орны асфальтталған жолға байланысты. Жақын елді мекен – темір жол станциясы бар Шетпе кенті кен орнынан 150 км қашықтықта орналасқан.

Бозашы түбегінің солтүстік-батыс аумағы абсолюттік белгілері - 19-дан + 28 м-ге дейін. Жер аумағының рельефі барханалар мен ескі жыныстарың қалдықтары.

Ауданның климаты күрт континенттік. Ауа температурасы қыста минус 30°С - тан жазда 45°С-қа дейін барады.

Тектоникалық жағынан Қаражанбас кен орны Бозашы көтерілісінің бөлігінде орналасқан және антиклиналды қатпарларына орналасқан. Кен орынның тереңдігі минус 330м дейін және аумағы 23*4,2 км.

Бұрғылау нәтижелерінің ақпараты бойынша кен орында $А_1$, $А_2$, Б, В, Г және Д қабаттары ашылған. Қабаттары тектоникалық экрандалған және стратиграфикалық экрандалған.

Коллектор құрамы құмтастар мен алевролиттермен құралған. Кеуектілік коэффиценті 27-29% ал өткізгіштігі 13мД-дан 350 мД дейін барады. Жабын ретінде сазды қабаттар орналасқан және олардың қалыңдығы 2м-126 м дейін барады.

Мұнай қабаттары 3,9м-75м дейін барады. Эффективті қалыңдық 4-18м, мұнай қаныққан қабат 2-14м. Мұнай қанығу коэффициенті 0,63-0,75. Мұнайдың тығыздығы 939-944 кг/м3. Алғашқы қабаттық қысым 3-5,75 МПа, қабат температурасы – 35-37*С.

Неокомдық өнімді горизонттардың мұнайдарында ерітілген газдар құрамы бойынша әртүрлі. Ондағы ауыр көмірсутектердің үлесі 13% - ға жақындап, 86,1% метанды құрайды. 1% мөлшерінде азоттың болуы байқалады. Б горизонтында құрамы бойынша ілеспе газ жеңіл, ауыр көмірсутектер пайызы 8,6% - ға дейін төмендейді, азот құрамы 3,3% - ға дейін өседі. Г горизонтындағы газ құрамы бойынша құрғақ, ауыр көмірсутектер саны 5 % - дан аз, метан 89,1% - ға дейін артады, азот құрамы 5,1% - ға дейін артады.

Химиялық құрамы бойынша қабаттық сулар хлоридті-кальцийлі түрдегі әлсіз тұзды суға жатады, олардың тығыздығы 1,03 г/см3, минералдануы 40-76 г/л. Олар микроэлементтердің жоғары концентрациясымен сипатталады — бром, бора, йод.

Алғашқы қорының мөлшері – 70 млн.тонна деп болжануда.

7.1 Экономикалық тиімділікті есептеу

Жобаланатын базалық баға 71 $/bbl (немесе 473 $/т (02.05.2019)) деңгейінде орнатылған, бұл ретте ҚҚС нөлдік ставка бойынша есептеледі. Мұнайды алыс шетелдерге тасымалдаудың базалық тарифі ҚҚС есебімен 20 пайыздық ставка бойынша 10 $/т мөлшерінде қабылданды.

Есептеу әдістемесі

Салықтар және мемлекетке аударымдар

- ҚҚС (НДС)-ішкі нарықта өнімді сатудан 12% ;
- ПҚӨС (НДПИ)- жылдық өндіру есебімен есептеледі және біздің жағдай үшін 10 %тең.
- Экспорттық баж-75 $ / т.
- Пайда салығы-20%

7.2 Капиталдық (күрделі салым) құйылымдар

Күрделі салымдарды есептеу келесі бағыттар бойынша жүргізілді:

Кен орнының жаңа бөлігін бұрғылау, қайта жаңарту есебінен мұнай өндірудің жобалық деңгейіне дейін өндіру көлемін ұлғайту, кен орнының жаңадан әзірленетін бөлігінде қабаттық қысымды ұстап тұру жүйесін құру.

Күрделі салымдардың көлемі:

- жаңа өндіру ұңғымаларын бұрғылау шығындары;
- жаңа өндіру және айдау ұңғымаларын жайластыру;
- топтық өлшеу қондырғылары (ТӨҚ);
- мұнай коллекторы ТӨҚ бастап сорғы станцияларына дейін (СС);
- бу генераторлық қондырғылар (БГҚ);
- қысқыш сорғы станциялары;
- электрмен жабдықтау, байланыс және автоматика желілері;
- басқа нысандар.

Пайдалану шығындары:

Пайдалану шығындары: ұңғымаларға қызмет көрсетуге; электр энергиясына; мұнай мен газды кәсіпішілік жинау мен тасымалдауға; мұнайды, газды және суды технологиялық дайындауға; амортизациялық аударымдарға; қызмет көрсетуге, ағымдағы және күрделі жөндеуге; персоналдың еңбегіне ақы төлеуге арналған шығындарды қамтиды, өнімнің өзіндік құнына, өндірістік және өндірістік емес сипаттағы бөгде ұйымдардың қызметтеріне кіретін салықтар, бюджетке аударымдар мен алымдар, сондай-ақ жүк тасымалы мен жабдықтауға арналған шығындар, жалпы әкімшілік шығыстар мен өзге де шығыстар, оның ішінде зиянды заттардың шығарындылары үшін табиғи ортаны қорғау қорына ақы төлеу.

Есепте мынадай салықтар мен төлемдер көзделген:

1. Ішкі нарықта өнімді өткізу кезінде қосылған құн салығы-20%. Сұйық көмірсутектер ҚР-дан тыс жерлерде де сатылатын болады деп болжануда,

онда олар бойынша айналымдарға ҚҚС салынбайды. Импортталатын құрал-жабдықтар мен материалдар ҚҚС салынбайды. Жергілікті нарықта материалдар мен қызметтерді сатып алуға 20 % ставка бойынша ҚҚС салынады. ҚҚС шегерімге арасында айырмашылық бар ҚҚС сату және ҚҚС сатып алу.

1. Заңды тұлғалардан алынатын табыс салығы бойынша 30% ставка бойынша салық салынатын кірістен. Шығындар жеті жылға дейінгі кез келген мерзімге ауыстырылуы мүмкін.
2. Дивидендтерге салынатын салық дивидендтерді төлеуге көзделген пайданың 15% ставкасы бойынша.
3. Мемлекеттік әлеуметтік сақтандыру қорына - еңбекке ақы төлеу қорының 15%.
4. Жұмыспен қамтуға жәрдемдесу қорына аударымдар - еңбекақы төлеу қорына 2%.
5. Міндетті медициналық сақтандыру қорына аударымдар-еңбекақы төлеу қорынан 3 %.
6. Мемлекеттік әлеуметтік сақтандыру қорына аударымдар-еңбекақы төлеу қорынан 1,5%.
7. Зейнетақы қорына аударымдар-еңбекақы төлеу қорының 10 %.
8. Мүлік салығы – негізгі өндірістік және өндірістік емес қорлардың қалдық құнының 1% (Жабдықтардың тозуын шегергендегі баланстық құны). Бұл ретте материалдық емес активтер мүлік салығы үшін салық салынатын базаға енгізілмейді.

Жол қорына төлемдер - келісімшарттық аумақта өндірілген көмірсутектерді сатудың жалпы сатылған құнының 0,5%.

Үстеме пайда салығы үшін салық салынатын база мердігердің таза табысы болып табылады, ол Салық кодексінің 2-бөліміне сәйкес заңды тұлғалардан алынатын табыс салығы мен дивидендтерге салынатын салықты қоса алғанда, табыс салығын шегергеннен кейінгі салық салынатын табысқа тең.

Бюджетке басқа да салықтар мен төлемдер (көлік құралдарына салық, түрлі мемлекеттік баждар мен алымдар, ҚР аумағы бойынша жол жүргені үшін, кеден баждары және т. б.) – кәсіпорын бойынша нақты шығындарға сәйкес мүлік салығынан 3,4 % ;

Жеке тұлғалардың – Қазақстан Республикасы қызметкерлерінің табыс салығы – орташа есеппен еңбекақы төлеу қорының 20% - ы.

7.1 кесте - Бастапқы деректер

Көрсеткіштер	Мәні
1	2
1. Өткізу бағасы	
Сыртқы нарықтағы Brent маркалы мұнай, $/барр	71
$/т	473

теңге/ т	179 740
2. Салықтар мен төлемдер	

7.1 кестенің жалғасы

1	2
ҚҚС, %	12
ПҚӨС, %	10
Пайда салығы,%	20
Мұнайға кеден баж салығы, АҚШ долл./ т	75

Жалпы келесі жұмысқа сүйінсек Қаражанбас кен орнында минерализициясы төмен судың айдау нәтижесінде лабораториялық жағдайда қосымша 8% мұнай шығарылды [54]: егер мұны есептесек келесі нәтижені аламыз. 70 млн. т мұнай қорының 8%-ы:

70 000 000*8%=5 600 000 тонна мұнай өндіріледі.

Егер оны толығымен экспортқа шығарсақ келесі табысты аламыз;

5 600 000 т * 473 $/т =**2 648 800 000 $**

2 648 800 000 $*380тг/$= 1 006 544 000 000 тенге (1 трлн. астам тенге)

Осы мұнайды құбыр арқылы тасымалдау 10$/т кетеді, яғни:

1. 5 600 000 т * 10 $/т = **56 000 000 $**
2. Ұңғымаларды жөндеу жұмыстары: 500 ұңғыма, 1 ұңғ. жөндеуге кететін шығын жылына 20 000 000тг= 52 631 $

500*52 631$*10 жыл=**260 315 789 $**

3. Мұнайды дайындау; 1 тонна мұнайды дайындауға кететін шығын үшін шамамен 3$

5 600 000 т * 3 $/т = **18 000 000$**

Салықтарды есептеу:

Біз барлық мұнайды экспортқа шығаратындақтан қосылған құн салығын есептемейміз. Пайдалы қазбаларды өндіру салығы 10% болғандықтан:

2 648 800 000 $*10%=**264 880 000$**

Мұнайға кеден баж салығы 75$/т болғандықтан:

5 600 000 т * 75$/т = **420 000 000$**

Сонымен, компанияның таза табысын есептеу үшін жалпы табыстан барлық шығындарды алып тастаймыз:

2 648 800 000 $ - 56 000 000 $ -260 315 789 $ - 18 000 000$ - 264 880 000$ - 420 000 000$= **1 629 604 211$**

Компанияның таза табысы **1 629 604 211$**. Енді осы табыстан 20 % пайда салығын алып тастаймыз:

1 629 604 211$**-20 %= **1 303 683 368$.

Нәтижесінде, компанияның таза табысы - **1 303 683 368$.** Ал мемлекетің табысы - **1 345 116 632 $**

7.1 сурет – Табыстың үлестері

8 МТС айдаудың басқа да әдістермен қолданылуы

8.1 МТС пен полимерлі суды бірге айдау.

Минерализациясы төмен суды полимер мен бірге араластырып айдауға болатынын Ayirala қарастырды. Осы артықшылықтардың бірі теңіз суымен салыстырғанда неғұрлым төмен күрделі және пайдалану шығындары болып табылады, бұл полимерлік қондырғылармен байланысты, өйткені тұздылығы төмен суды пайдалану тұтқырлығы бойынша белгілі бір талаптарды қанағаттандыру үшін химикаттардың көп мөлшеріне қажеттілікті төмендетеді. Бұдан басқа, неғұрлым жоғары мұнай беруге төмен тұздылығы бар суландыруды және полимерлі суландыруды пайдалана отырып, ығыстырудың макроскопиялық тиімділігін пайдалана отырып микроскопиялық ығыстыру тиімділігін жақсарту жолымен қол жеткізуге болады.

Kozaki (2012) құмнан жасалған керндерде үшінші реттік су айдуда бірнеше минерализациясы жоғары және минерализациясы төмен полимерлер ерітінділерін пайдалана отырып эксперименттер жүргізді. Ол минерализациясы жоғары полимердің ерітіндісіне қарағанда минерализациясы төмен полимердің ерітіндісінен қалған мұнаймен қанығудың 5-10%-ға азайғанын хабарлады. Сонымен қатар, ол төмен минералданған полимерлер ерітінділерінің мұнай ығыстыру тиімділігін арттыру есебінен мұнайды тез алуға болатыны атап өтті. Минерализациясы төмен және полимердің комбинациясы арзан, себебі полимерді су айдау үшін алынған мұнайдың мөлшеріне химикаттар құнының 5 есе төмендеуіне қосылатын полимердің үштен бірі немесе аз болуы талап етіледі.

Минерализациясы төмен полимерлерді су айдау кезінде жоба экономикасын үнемдеу жақсаруы мүмкін, өйткені белгілі бір тұтқырлыққа жету үшін полимердің концентрациясы төрт есе азаяды. Бұдан басқа, олар төмен минералданған полимерді айдау пайдаланудың қосымша артықшылықтарын атап көрсетті, оның ішінде механикалық қозғалысқа сезімталдығы төмен, жоғары тұрақтылық және жоғары температуралы, жоғары минералданған суы бар қабаттар үшін пайдалану, химияның азаюы мәселелерін төмендетеді (шөгінділердің пайда болуы, қышқылдану, мұнай - су бөлу) және полимердің тұтқыр-пластикалығының ұлғаюы есебінен қалдық мұнаймен қанығудың төмендеуі анықталды. Сонымен қатар олар катион алмасумен байланысты саздың ісінуі, және полимер адсорбциясының проблемалар туыдауы мүмкінділігін атап өтті. Мұның барлығы мұнайбергіштікті арттыруды кешіктіріп жобаның экономикасына кері әсерін тигізетіні айтты. Басқа зерттеу жұмыстарында МТС судың айдау мөлшерінің, полимердің тұтқырлығы полимермен бірге айдалатын минерализациясы төмен судың әсері кішкене ғана болатынын көрсетті.

8.2 МТС пен беттік әрекет заттарын (БӘЗ) бірге айдау.

БӘЗ бен бірге МТС айдауды Spildo зерттеді. Оның зерттеу жұмыстары егер капиллярлық қысым жоғары болғандықтан МТС ығыстырылған мұнай кеуектер арасында тығындалып қалу мүмкіндігін айтты. Сондықтан беттік әрекет заттарын минерализациясы төмен сумен бірге айдау ұсынылды. Себебі ол фазалық керілуді төмендетіп, мұнайдың тұрып қалуын азайтады. Зерттеулер нәтижесінде аралас дымқылдану ортасы сулы дымқылдануға қарағанда қолайлы. Сонымен қатар, беттік әрекет заттарды тек өзін айдағаннан гөрі минерализациясы төмен сумен айдағанда алде қалай дұрысырақ. Одан басқа да зерттеу жұмыстары Береа құмтасты кенрде МТС пен БӘЗ аралсатырып айдаған жақсы көрстекіштер берді. Жұмыста ұзын керндерде капилярлық әсердің азаюы байқалды және де ұзақ уақыт дайындалған кернде қысқа уақытта дайындалған керндерден гөрі жақсы нәтиже алынды. Khanamiri жұмысында Береа керн үлгілерінде минерализациясы аз суды беттік әрекет заттармен бірге суды айдағанда оның үшінші реттік су айдау екінші реттік су айдаумен салыстырғанда көбірек мұнайды ығыстырды. БӘЗ оптималды айдау кезеңінде минерализациясы жоғары қабат суын айдаған кезде жақсы көрсеткіштерге қол жеткізеді.

8.3 МТС пен су-газды кезектестіріп бірге айдау.

Газ мобилизациясын қадағалау осы газбен суды кезектестіріп немесе бірге айдағанда қол жеткізуге болады. Бұл технлогияның мақсаты газды айдап болғаннан кейін қалып қалған мұнайды сумен шайып шығу. Сондықтан қолданып жатқан судың қасиеттері өте маңызды параметр болып табылады. Бұл технологияның сәттілігіне қабаттың біртексіздігі, сұйықтықтың қасиеттері, газбен судың араласу жағдайы, қабаттың дымқылдану қасиеттері және айдалып жатқан сумен газдың мөлшері мен су-газдың қатынасы. Kulkarni жцне Rao жұмыстарында араласатын және араласпайтын сумен газды кезектестіріп айдау Береа құмтастарында қарастырылды. Олардың байқағаны мұнайбергіштіктің кемуі судың минерализациясының азаюымен тікелей байланысты. Себебі, минерализация азайған сайын CO_2 еруіде артады. Ол жұмыста минерализацияның 32г/л дейін азайтқаны айтылады, бірақ мұндай концентрация негізі МТС минерализациясынан әлде қайда жоғары. Ол зерттеулер 60*С және газдың суда еруінің минималды көрсеткішінен 20% жоғары көрсектіште айдалды. CO_2 суда аз еруі оның мұнайды ығыстырғыштық қасиеттерін жақсартыды, себебі көбірек газ қалып қалады.

Fjelde өз жұмысында МТС мен газды бірге айдағанды қосымша мұнайдың шығуын, оның қабаттың бетінің дымқылдануының өзгеру салдарынан деп түсіндіреді. Ол өзінің зерттеулерін Солтүстік теңіздің бор тау жыныстарында 50 және 130*С жасаған. Зерттеудің қойылу тәртібі келесідей болды: бірінші кернге қабат суы, содан кейін теңіз суы, соңында МТС суы газбен бірге айдалды. Зерттеу барысында дымқылдану байқалды және қосымша 5 % мұнай алынды. Сонымен қатар, бірнеше зереулер карбонатты

және құмтасты тау жыныстарында жүргізілді. Зертеу барысында кернге теңіз суы, одан кейін минерализациясы аз су, содан кейін су мен газ бірге айдалды. Зерттеу нәтижесінде калдық мұнайдың коффициенті азайғаны көрсетілді. МТС пен газды кезектестіріп айдау нәтижесінде беттік керілу мен жанасу бұрышы азайғаны байқалды. Газбен МТС суын айдаған сәтте көп газ суда еріп, фазааралық керілу күшін төмендетіп, дымқылданудың көрсекткішін жоғарылатады деген тұжырымдама жасалынды.

ҚОРЫТЫНДЫ

Дипломдық жобада төмен минерализацияланған су айдау технологиясының терригенді және карбонатты коллекторлардағы механизмдері талдалынды. Төмен минерализацияланған су айдауда мұнай бергіштіктің артуының басты механизмі ретінде жанасу бұрышының өзгерте отырып, дымқылданудың өзгерісі қарастырылды. Сондай-ақ, қойылған міндеттерге сәйкес:

1. МТС айдау жайлы зертханалық пен кәсіптік зерттеулер нәтижесіне сүйене отырып, терригенді және карбонатты коллекторларда орын алатын механизм ерекшелігіне байланысты басты механизмдеріне талдау жасалынды.
2. Минерализациясы төмен суды айдаудың негізгі критерийлері анықталды, яғни саздың болуы(оның ішінде, каолинит), қабат суы мен айдалатын судың шартты минерализациясы, диваленті катиондардың болуы және тб.
3. Тау жыныс - мұнай – су жүйесінде МТС айдау кезінде мұнайдың микроскопиялық ығыстыруын байқау үшін оған әсер ететін дымқылдану, капиллярлық қысым, беттік керілу арқылы судың мұнайды капилярлық түтіктен ығыстырылуы есептелінді.
4. Мұнай бергіштіктің артуы, аталған МТС айдауда дымқылдануға тікелей байланыстығын көрсетті, демек жанасу бұрышын(45°, 60°, 85°) өзгертсе, мұнайдың капиллярлық қысымы азаяды.
5. Минерализациясы төмен су айдау - әлі де толыққанды зерртеулерді талап ететін жаңа әдіс. Әлем бойынша зертханалық зерттеулер жүргізілгенімен, санаулы кенорындарда ғана қолданыс тапқан. Қазақстан жағадайында қолданылуы мүміндігін анықтау мақсатында, Қаражанбас кенорны үшін экономикалық тиімділігі анықталды.

БЕЛГІЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

$К_{ығыс}$ – мұнай ығыстыру коэффициенті [бірлік үлес];
МБК – мұнай бергіштік коэффициенті [бірлік үлес];
ББЗ – беттік белсенді заттар;
МБАӘ – мұнай бергіштікті арттыру әдісі;
МТС – минерализациясы төмен су;
МЖС – минерализациясы жоғары су;
МИА – мульти - иондық алмасу;
ЭКП – электрокинетикалық потенциал;
ҚЭҚ – қос электрлік қабат;
С – молярлық концентрация [моль/л];
Z – иондардың валенттілігі;
μ – тұтқырлық [мПа*с];
Т – температура [ºС];
k – өткізгіштік [D];
E_D – микроскопиялық ығыстыру коэффициенті;
σ – беттің керілу күші [дин/см];
dA – жаңа беттің ауданы [см^2];
$F_{кк}$ - керілу күші [дин/см];
$F_{ак}$ - ауырлық күші [дин/см];
P_C = капиллярлы қысым;
θ = жанасу бұрышы;
r_c= түтік радиусы [мм];
h = интерфейс биіктігі [м];
ρ_w = судың тығыздығы [кг/м^3];
ρ_o = мұнай тығыздығы [кг/м^3];
ҚҚС – Қосылған құн салығы [пайыз];
ПҚӨС – Пайдалы қазбаларды өндіруге салынатын салық [пайыз].

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1 Lake, L.W., 1989. Enhanced Oil Recovery. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

2 Yousef, A.A., Ayirala, S.C., 2014. Optimization study of a novel water-ionic technology for smart-waterflooding application in carbonate reservoirs. Oil Gas Facilit.

3 Ayirala, S., Ernesto, U., Matzakos, A., Chin, R., Doe, P., Hoek, P.V.D. 2010. A designer water process for offshore low salinity and polymer flooding applications. Paper SPE 129926, SPE Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, OK.

4 Dang, C.T.Q., Nghiem, L.X., Chen, Z., Nguyen, Q.P., Nguyen, Ngoc. T. B, 2012. State-of-the art low salinity waterflooding for enhanced oil recovery. Paper SPE 165903, SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition, Jakarta, Indonesia.

5 Sheng, J.J., 2014. Critical review of low-salinity waterflooding. J. Petrol. Sci. Eng. 120 (2014), 126224.

6 Bernard, G.G., 1967. Effect of Floodwater Salinity on Recovery of Oil from Cores Containing Clays. Paper SPE 1725, SPE California Regional Meeting, Los Angeles, California, USA.

7 Zhang, Y., Xie, X., and Morrow, N.R., 2007a. Waterflood Performance by Injection of Brine with different Salinity for Reservoir Cores. Paper SPE 109849, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Anaheim, California, USA.

8 Patil, S., Dandekar, A.Y., Patil, S.L., and Khataniar, S., 2008. Low Salinity Brine Injection for EOR on Alaska North Slope (ANS). Paper SPE 12004, International Petroleum Technology Conference, Kuala Lumpur, Malaysia.

9 Webb, K.J., Black, C.J.J., and Edmonds, I.J., 2005a. Low Salinity Oil Recovery - The role of reservoir condition core floods. 13th European Symposium on Improved Oil Recovery, Budapest, Hungary.

10 Tang, G.Q., Morrow, N.R., 1997.Salinity temperature, oil composition and oil recovery by waterflooding. SPE Reserv. Eng.

11 Agbalaka, C.C., Dandekar, A.Y., Patil, S.L., Khataniar, S., Hemsath, J.R., 2009. Coreflooding studies to evaluate the impact of salinity and wettability on oil recovery efficiency.

12 Loahardjo, N., Xie,X., Yin,P.,and Morrow, N.R.,2007. Low Salinity Waterflooding of a Reservoir Rock. Paper SCA 2007-29,International Symposium of the Society of Core Analysts, Calgary, Alberta, Canada.

13 Lager,A., Webb, K.J., and Black, C.J.J., 2007. Impact of Brine Chemistry on Oil Recovery. 14th European Symposiumon IOR, Cairo, Egypt.

14 Lager, A.K., Webb, K.J., Collins, I.R., and Richmond, D. M., 2008. LoSal^{TM} Enhanced Oil Recovery: Evidence of Enhanced Oil Recovery

at the Reservoir Scale. Paper SPE 113976, SPE Symposium on Improved Oil Recovery, Tulsa, Oklahoma, USA.

15 Aladasani, A., Bai, B., Wu, U., 2012. Investigating low-salinity waterflooding recovery mechanisms in sandstone reservoirs. Symposium on SPE Improved Oil Recovery, Tulsa, Oklahoma, USA, Paper SPE 152997.

16 Gamage, P., Thyne, G., 2011. Comparison of oil recovery by low salinity waterflooding in secondary and tertiary recovery modes. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, Colorado, USA, Paper SPE 147375.

17 Fjelde, I., Asen, S.M., and Omekeh, A., 2012. Low Salinity Water Flooding Experiments and Interpretation by Simulations. Paper SPE 154142, SPE Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, Oklahoma, USA.

18 Suijkerbuijk, B.M., J.M., Hofman, J.P., Ligthelm, D.J., Romanuka, J., Brussee, N., van der Linde, H.A., and Marcelis, A.H.M., 2012. Fundamental investigations into wettability and low salinity flooding by parameter isolation. Paper SPE 154204, SPE Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, Oklahoma, USA.

19 Suijkerbuijk, B.M., Sorop, T.G., Parker, A.R., Masalmeh, S.K., Chmuzh, I.V., Karpan, V.M., Volokitin, Y.E., and Skripkin, A.G., 2014. Low Salinity Waterflooding at West Salym: Laboratory Experiments and Field Forecasts. Paper SPE 169691, SPE EOR Conference at Oil and Gas West Asia, Muscat, Oman.

20 Webb, K.J., Black, C. J.J., and Al-Ajeel, H., 2004. Low Salinity Oil Recovery- Log-Inject-Log. Paper SPE 89379, SPE Symposium on Improved Oil Recovery, Tulsa, Oklahoma, USA.

21 Akhmetgareev, V., and Khisamov, R., 2015. 40 Years of Low-Salinity Waterflooding in Pervomaiskoye Field, Russia: Incremental Oil. Paper SPE 174182, SPE European Formation Damage Conference and Exhibition, Budapest, Hungary.

22 Skrettingland, K., Holt, T., Tweheyo, M.T., Skjevark, I., 2011. Snorre low salinity water injection-coreflooding experiments and single well field pilot. SPE Reserv.

23 Callegaro, C., Masserano, F., Bartosek, M., Buscaglia, R., Visintin, R., Hartvig, S. K., and Huseby, O., 2014. Single Well Chemical Tracer Tests to Assess Low Salinity Water and Surfactant EOR Processes in West Africa. Paper SPE 17951, SPE International Petroleum Technology Conference, Kuala Lumpur, Malaysia.

24 Farida, A., Hashem, S.H., Abdulraheem B. et al. 2012. First EOR Trial Using Low Salinity Water Injection in the Greater Burgan Field, Kuwait. Presented at the 18th Middle East Oil and Gas Show and Conference, Manama, Bahrain, 10–13 March. SPE-16434-MS.

25 Ахметгареев В.В., Исследование процессов разработки нефтяных коллекторов низкоминерализованным заводнением на основе моделирования: на примере месторождений Республики Татарстан. Бугульма, 2016 г., 135 стр., УДК: 622.276.6 (Диссертация)

26 Robertson, E.P. Low-Salinity Waterflooding to Improve Oil Recovery - Historical Field Evidence / E.P. Robertson // Paper SPE 109965 Presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in Anheim, CA.

27 Батурин, В.П. Минералогический состав и нефтеотдача песков. Азербайджанское нефтяное хозяйство. - 1932. - № 2.

28 Хавкин, А.Я. Нанотехнологии в добыче нефти. Нефтяное хозяйство. 2007.

29 Waleed A., Tadesse [illegible], Ramona M.G., 2014. Wettability Alteration during Low-Salinity Waterflooding in Carbonate Reservoir Cores. SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition held in Adelaide, Australia, Paper SPE 171529.

30 Абдулмазитов Р.Д. и др. Геология и разработка крупнейших и уникальных нефтяных и нефтегазовых месторождений России: в 2 т. Т. 1 / М.:1996.

31 Tang, G.Q., Morrow, N.R., 1999. Influence of brine composition and fines migration on crude oil/brine/rock interactions and oil recovery. 1.

32 Doust, A.R., Puntervold, T.P., Austad, T., 2010. A discussion of the low salinity EOR potential for a North Sea sandstone field. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Florence, Italy, Paper SPE 134459.

33 Alotaibi MB, Azmy R, Nasr-El-Din HA. A comprehensive EOR study using low salinity water in sandstone reservoirs. Soc Pet Eng 2010.

34 McGuire, P.L., Chatham, J.R., Paskvan, F.K., Sommer, D.M., and Carini, F.H., 2005. Low Salinity Oil Recovery: An Exciting New EOR Opportunity for Alaska's North Slope. Paper SPE 93903, SPE Western Regional Meeting, Irvine, California, USA.

35 Lager, A., Webb, K.J., Black, C.J.J., Singleton, M., and Sorbie, K. S., 2006. Low salinity oil recovery- An experimental investigation. Proceedings of International Symposium of the Society of Core Analysts, Norway.

36 Austad T., RezaeiDoust A., Puntervold T., 2010. Chemical mechanism of low salinity water flooding in sandstone reservoirs. Soc Pet Eng .

37 Tang G, Morrow NR., 2002. Injection of dilute brine and crude oil/brine/rock interactions, vol. 129. Washington D.C.: American Geophysical Union.

38 Suijkerbuijk, B.M.J.M., Hofman, J.P., Ligthelm, D.J., Romanuka, J., Brussee, N., van der Linde, H.A., et al., 2012. Fundamental investigations into wettability and low salinity flooding by parameter isolation. SPE Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, Oklahoma, USA, Paper SPE 154204.

39 Doust, A.R., Puntervold, T.P., Strand, S., and Austad, T.A., 2009. Smart Water as Wettability Modifier in Carbonate and Sandstone. Energy Fuels, 2009.

40 Zhang, Y., Morrow, N.R., 2006. Comparison of secondary and tertiary recovery with change in injection brine composition for crude oil/sandstone combinations. SPE Symposium on Improved Oil Recovery, Tulsa, Oklahoma, USA, Paper SPE 99757.

41 Nasralla, R.A., Nasr-El-Din, H.A., 2011. Impact of electrical surface charges and cation exchange on oil recovery by low salinity water. SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Jakarta, Indonesia, Paper SPE 147937.Rivet, S., Lake, L.W., and Pope, G.A., 2010. A Coreflood Investigation of Low- Salinity Enhanced Oil Recovery. Paper SPE 134297, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Florence, Italy.

42 Shehata, A.H., and Nasr-El-Din, H.A., 2015. Zeta Potential Measurements: Impact of Salinity on Sandstone Minerals. Paper SPE 173763, SPE International Symposium on Oilfield Chemistry, The Woodlands, Texas, USA.

43 Sohrabi, M., Mahzaı zaneh, S.A., Mills, J.R., Tsolis, P., and Ireland, S., 2015. Novel Insights ınto Mechanisms of Oil Recovery by Low Salinity Water Injection. Paper SPE 172778, SPE Middle East Oil & Gas Show and Conference, Manama, Bahrain.

44 Hassenkam, T., Matthiesen, J., Pedersen, C.S., Dalby, K.N., Stipp, S.L.S., and Collins, I. R., 2012. Observation of the low salinity effect by atomic force adhesion mapping on reservoir sandstones. Paper SPE 154037, SPE Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, OK, USA.

45 Hassenkam, T., Andersson, H., Hilner, E., Matthiesen, J., Dobberschutz, S., Dalby, K.N., et al., 2014. A fast alternative to core plug tests for optimizing injection water salinity for EOR. SPE Improved Oil Recovery Symposium, Tulsa, OK, USA, Paper SPE 169136.

46 Chandrasekhar, S., and Mohanty, K.K., 2012. Wettability Alteration with Brine Composition in High Temperature Carbonate Reservoirs. Paper SPE 166280, SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, USA

47 Al-Attar, H.H., Mahmoud, M.Y., Zekri, A.Y., Almehaideb, R.A., and Ghannam, M.T., 2012. Low Salinity Flooding in a Selected Carbonate Reservoir: Experimental Approach. Paper SPE 164788, EAGE Annual Conference & Exhibition, London, United Kingdom.

48 Awolayo, A., Sarma, H., and Al Sumaiti, A. M., 2014. A Laboratory Study of Ionic Effect of Smart Water for Enhancing Oil Recovery in Carbonate Reservoirs. Paper SPE 169662, SPE EOR Conference at Oil and Gas West Asia, Muscat, Oman.

49 Vinogradov J., Jaafar M.Z., Jackson M.D., 2010. Streaming potentials in sandstones saturated with high salinity natural and artificial brines.

50 Zahid, A., Shapiro, A., and Skauge, A., 2012. Experimental Studies of Low Salinity Water Flooding in Carbonate Reservoirs: A Mew Promising Approach. Paper SPE 155625, SPE EOR Conference at Oil and Gas West Asia, Muscat, Oman.

51 Alameri, W., Teklu, T.W., Graves, R.M., Kazemi, H., and AlSumaiti, A.M., 2015. Experimental and Numerical Modeling of Low-Salinity Waterflood in a Low Permeability Carbonate Reservoir. Paper SPE 174001, SPE Western Regional Meeting, Garden Grove, California, USA.

52 Bagci, S., Kok, M.V., Turksoy, U., 2001. Effect of brine composition on oil recovery by waterflooding. J. Pet. Sci. Technol.

53 Тургазинов И.К. Повышение эффективности разработки нефтяных месторождений находящихся на поздних стадиях эксплуатации с применением низкоминерализованного заводнения (на примере месторождении южного Тургая). Алматы, 2018., 113стр., УДК 622.32 (Диссертация)