

СОЛЕУТВОРЕННЯ ПРИ ВИДОБУТКУ НАФТИ ТА ВПЛИВ НА НЬОГО ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ

Розглядається процес солеутворення при розробці нафтових родовищ та актуальність даної проблематики для промислових нафтових геологів. В статті наводиться взаємозв'язок гідрогеологічного середовища із покладами нафти та газу, а також вплив гідрогеологічних умов на них. Гідрогеологічні властивості родовищ нафти виділяються в окрему категорію, яка впливає на процес утворення солей безпосередньо під час розробки нафтового родовища. Наводяться приклади родовищ в різних країнах, на яких була зафіксована проблема утворення солей. Вода при цьому розглядається як основне джерело надходження солей. В статті наводяться основні солі які найчастіше зустрічаються промисловим нафтовикам під час розробки родовищ нафти. Описано що, і за рахунок чого, може приводити до утворення солей.

Ключові слова: солеутворення, нафтове родовище, нуклеація, температура, тиск, розчинність.

Д.Ф. Чомко, М.В. Рева. СОЛЕОБРАЗОВАНИЕ ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ И ВЛИЯНИЕ НА НЕГО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ. Рассматривается процесс солеобразования при разработке нефтяных месторождений и актуальность данной проблематики для промышленных нефтяных геологов. В статье приводится взаимосвязь гидрогеологической среды с залежами нефти и газа, а также влияние гидрогеологических условий на них. Гидрогеологические свойства месторождений нефти выделяются в отдельную категорию, которая влияет на процесс образования солей непосредственно во время разработки нефтяного месторождения. Приводятся примеры месторождений в разных странах, на которых была зафиксирована проблема образования солей. Вода при этом рассматривается как основной источник поступления солей. В статье приводятся основные соли, которые чаще всего встречаются промышленным нефтяникам при разработке месторождений нефти. Описано что, и за счет чего, может приводить к образованию солей.

Ключевые слова: солеобразование, нефтяное месторождение, нуклеация, температура, давление, растворимость.

Вступ. Родовища нафти та газу є однією із складових природних гідродинамічних систем. У зв'язку з цим велика увага приділяється вивченню гідрогеологічної складової на всіх стадіях дослідження та розробки нафтових та газових родовищ. Досліджуються динаміка водонесних горизонтів, фізико-хімічні показники вод (хімічний склад, мінералізація, розчинені гази, рН та інші), а також відмітки напорів та температурні показники. Ці гідрогеологічні елементи вчені виділяють в окремий розділ науки – нафтогазову гідрогеологію.

До 60-х років ХХ ст. нафтогазові гідрогеологи займалися лише вивченням та дослідженням гідрогеологічних особливостей нафтових та газових родовищ. Результати цих досліджень допомагали при пошуках нових родовищ та під час проектування режимів їх експлуатації. Серед основних науковців в даній тематиці можна виділити Г.М. Сухарева, В.В. Колодія, А.А. Карцева та інших.

З 60-х років попит на нафту та газ почав збільшуватися, тим самим спричинивши зростання об'єму їх видобутку. Родовища почали експлуатувати більш інтенсивно, закладаючи нові більш потужні свердловини, в результаті чого почали інтенсивно змінюватися природні гідрогеологічні умови (зміна тиску, температури, умов фільтрації та хімічного складу води). Як наслідок промислові нафтогазові геологи зіткнулися з такою проблемою як солеутворення та солевідкладення у породах колекторах, експлуатаційних колонах та насосному обладнанні. Виявилось, що процес солеутворення може виникати не лише навколо експлуатаційних свер-

дловин, а і навколо нагнітальних, які використовуються при розробці родовищ з метою підвищення вторинної нафтовіддачі.

Утворення солей на нафтових родовищах. Солеутворення на нафтових родовищах є однією з найбільш мобільних проблем. Цій проблемі найбільше піддаються свердловини і призабійні зони, які мають обводнений характер. Близько 60-70% причин виходу із строю газ-ліфтового обладнання відбуваються внаслідок відкладення солей. Аварійний фонд видобувних свердловин обладнаних штанговими насосами через відкладення солей складає на родовищах Башкірії – 60%, Мангишлака – 70%, Азейбарджана – 80%. Солеутворення зустрічається на родовищах України – Решетняківському, Шебелинському, Соснівському родовищах; Росії – на родовищах Саратовської, Оренбурзької областей, Північного Кавказу та в інших нафтових провінціях; на родовищах Білорусі – Речицьке, Давидовське, Вишанське; у США – родовища Західного Техасу [1]. Гострою ця проблема є і для родовищ шельфових зон та морських акваторій.

Солі на більшості нафтових родовищ утворюються шляхом прямого осадження з води, що або знаходиться в пустотах породи, або як результат перенасичення пластових вод сольовими компонентами, або при контакті двох несумісних вод в призабійній зоні свердловин. Вірогідність утворення солевідкладень не залежить від того, використовується чи пластова вода нафтогазових свердловин чи інша вода. Солеутворення можуть розвиватися в породах призабійної зони, закупорюючи їхні пори і трі-

щини та зменшуючи віддачу свердловин. Солі також можуть утворюватися в експлуатаційних колонах та їх перфораційних каналах. Ефект солеутворення може бути катастрофічним: наприклад, в одній із свердловин Північного моря на родовищі Міллера, нафтовидобуток із 4770 м³/добу впав майже до нуля за 24 години [2].

Вплив води на процес солеутворення.

Головним джерелом солеутворення виступає вода, яка є гарним розчинником і здатна при цьому переносити велику кількість розчинених солей. Усі природні води містять у своєму складі різні компоненти в залежності від порід, через які вони протікають. Це призводить до утворення складних розчинів багатьох іонами, деякі з яких знаходяться на гранично допустимому рівні насичення для конкретних мінералів

льних фаз. Морська вода містить велику кількість іонів, які є результатом морської життєдіяльності та випаровування. Ґрунтові води і води неглибокого залягання – розбавлені та відрізняються за хімічним складом від глибокозалягаючих підземних вод нафтогазових родовищ. Глибокозалягаючі підземні води насичуються іонами за рахунок контакту з осадовими породами. Вода, яка знаходиться в карбонатних породах або вапняках, зазвичай містить надлишок двовалентного кальцію (Ca^{2+}) та магнію (Mg^{2+}). Пластові води в пісковнику зазвичай містять іони барію (Ba^{2+}) та стронцію (Sr^{2+}). Точний хімічний склад має складну залежність від діагенезу мінералу та інших типів обміну пластового руху флюїдів і складних перемішувань за геологічну епоху.



Рис. 1. Сольові відкладення в експлуатаційних колонах

Солеутворення розпочинається в той момент, коли стан будь-якого природного розчину порушується шляхом перевищення розчинності одного або декількох компонентів. Розчинність самих мінералів має складну залежність від температури та тиску. Зазвичай збільшення температури призводить до збільшення розчинності мінералу водою. Більшість іонів розчиняються при високих температурах. Аналогічно, зменшення тиску викликає меншу розчинність, в якості емпіричного правила – розчинність більшості мінералів падає в два рази на кожні 48 МПа зменшення тиску.

Проте не всі мінерали піддаються прямій температурній залежності, наприклад карбонат кальцію має прямо протилежну залежність, здебільшого розчинність зростає зі зменшенням температури. Розчинність сульфату барію зростає у два рази в температурному діапазоні від 25°C до 100°C і далі в стільки ж раз падає при

зростанні температури до 200°C. В даному випадку речовина впливає на свою розчинність шляхом збільшення фонових концентрацій іонів. Існує складність в розчиненні карбонатних мінералів при наявності кислих газів, таких як вуглекислий газ (CO_2) та сірководень (H_2S). Розчинність карбонату збільшується по мірі збільшення кислотності, а CO_2 і H_2S при високому тиску забезпечують суттєву кислотність. Відповідно, пластові води при контакті з карбонатними породами і розчиненими газами можуть насичуватися розчинними карбонатами. Графік розчинності має складну не лінійну залежність від складу розчину, температури і тиску газу над рідиною, причому ефект від впливу тиску на розчинність газу виражається більшою величиною, ніж ефект впливу тиску на розчинність мінералу. Тобто, з пониженням тиску, CO_2 вивільняється із водної фази, викликає зростання рН, що і є наслідком утворення кальциту [3].

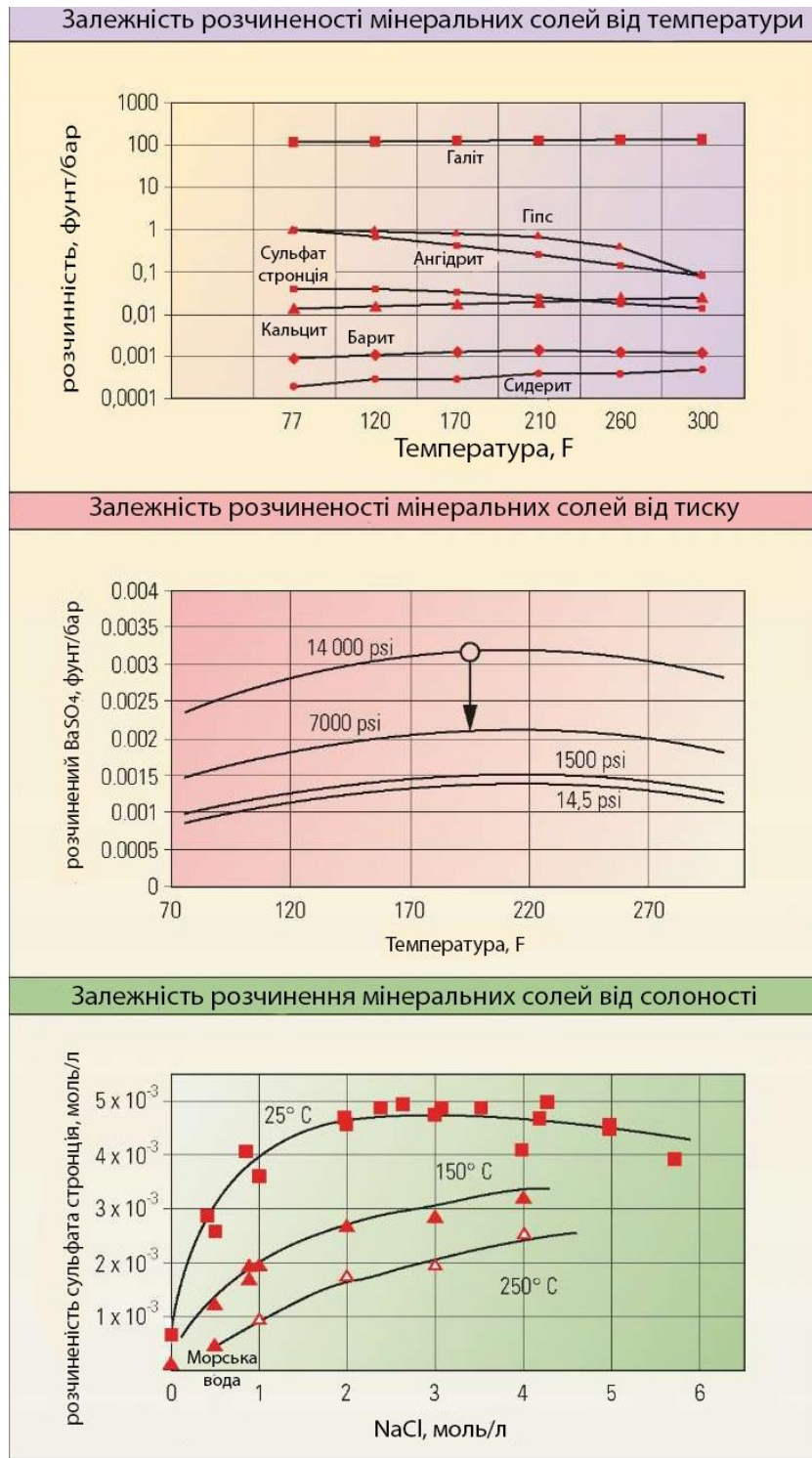


Рис. 2. Графіки розчинності мінеральних речовин від температури, тиску, та засоленості води

Хоча основними факторами солеутворення може бути зміна температури, тиску, наявність сторонніх газів, зміна рівня pH , контакт з несумісною рідиною, інколи буває, що пластові води навіть в перенасиченому стані не дають соляного осаду (процесу «росту» із розчину кристалів). Даний процес поділяється на декілька етапів. На першому етапі його розвиток починається з насиченого розчину у вигляді утворення нестабільних кластерів атомів, а сам

процес називається гетерогенною нуклеацією. Далі під дією локальних флуктуацій іонів перенасиченого розчину, атомні кластери утворюють маленькі кристали-зародки. Ці кристали поступово ростуть за рахунок адсорбції іонів на дефективних ділянках поверхні кристалів, збільшуючи свій розмір. Причиною росту зародкових кристалів є зменшення вільної поверхні енергії кристала, яка стрімко зменшується за рахунок збільшення радіуса часток після того,

як досягається критичний розмір. Це вказує на те, що великі кристали будуть продовжувати свій ріст, а малі можуть розчинитися знову. Таким чином при досить високих ступенях перенасичення може виникати утворення зародкових кристалів, що призведе в подальшому до солевідкладення [4].

Інколи каталізуючим процесом для гетерогенної нуклеації є дефекти труб, насосного обладнання, зварювальні шви та перфораційні канали. Також при солеутворенні каталізатором є висока турбулентність. Зважаючи на характер та особливості процесу нуклеації промислові нафтовики виділяють 4 основні причини солеутворення: *несумісне змішування, автоосадження, солеутворення як результат випаровування і закачування газу.*

Спробуємо розібратися в основних причинах утворення солей.

Несумісне змішування – змішування закачаних вод і пластових вод може викликати утворення сольових відкладів. Морська вода часто вводиться в пласти для збільшення нафтовіддачі з метою заводнення пласта. В морській воді зазвичай міститься велика кількість іонів SO_4^{2-} , з концентраціями вищими за 2000 мг/дм^3 , в той час як пластові води містять велику кількість катіонів Ca^{2+} та Ba^{2+} . Змішування рідин навколо свердловини дає нові рідини з комбінованими концентраціями іонів, які зазвичай перевищують гранично допустиму розчинність сульфатних мінералів, що призводить до виділення його в осад. Утворення сульфату кальція ($CaSO_4$) притаманне для вапнякових порід, а відклади сульфату барію ($BaSO_4$) та сульфату стронцію ($SrSO_4$) – для пісковиків. Відклади даних солей можуть утворюватися не тільки в породі, але і в трубах та експлуатаційному обладнанні.

Автоосадження. Під час руху пластова рідина рухається і піддається змінам температури та тиску. Якщо ці процеси будуть впливати на рідину з складом, перевищуючим гранично допустимі межі розчинності для певного мінералу, то внаслідок цього він буде виділятися у вигляді осаду. Сульфатні і карбонатні осади можуть утворюватися в результаті зміни тиску в середині свердловини або пласта. Осад хлориду натрію ($NaCl$) утворюється таким самим чином із висококонцентрованих розсолів, які піддаються великим змінам температури. Вода може містити в розчиненому вигляді 240 кг/м^3 галіту ($NaCl$) при температурі $200 \text{ }^\circ\text{C}$ і тільки 170 кг/м^3 за температури оточуючого середовища. Інша проблема виникає коли карбонатні відклади утворюються із пластових рідин, які містять кислі гази. Зниження тиску в процесі видобутку

флюїду викликає вивільнення газів, які в свою чергу підвищують рівень pH і викликають солевідкладення. Відкладення карбонату може виникати в породах навколо свердловини і простягатися навіть до наземного обладнання за рахунок зміни температури та тиску пластових вод.

Характерною особливістю карбонатних осадів є те, що температурні ефекти як правило працюють проти ефектів тиску. Наприклад, тиск падає в усті свердловини, що може викликати утворення сольових відкладень в породах. За ступенем підйому рідини вгору по трубах до температур оточуючого середовища і поверхневих тисків, падіння температури може визначити ефект тиску, знижуючи при цьому солевідкладення в середині труб. В іншому випадку, поступове зменшення тиску від устя свердловини до поверхні може призвести до інтенсивного виділення осаду в трубах і поверхневому обладнанні.

Селевідкладення, викликане випаровуванням – утворення сольових відкладів пов'язане з паралельним видобутком вуглеводневих газів і пластових розсолів (*важкий газ*). В результаті зменшення гідростатичного тиску в трубах збільшується об'єм вуглеводневого газу але гаряча фаза розсолу все ще випаровується. Це спричиняє концентрування розчинених іонів і перевищенню розчинності мінералів у воді, що залишилися. Що в свою чергу є типовими умовами утворення галіту ($NaCl$) у свердловинах з високою температурою і тиском, за таких умов також можуть утворюватися інші мінерали.

Закачування газу. Заповнення пласта газоподібним CO_2 , яке виконується з метою вторинного підвищення нафтовіддачі пласта, може в свою чергу викликати утворення солей. Вода контактуючи з CO_2 стає слабкою кислотою і розчиняє кальцит в пласті. Послідовне зменшення тиску в пласті навколо свердловини, може стимулювати CO_2 виділятися з розчину і викликати осадження карбонату на перфораційних каналах та порах пласта навколо свердловини. Утворення сольових відкладів навколо свердловини може знову викликати зменшення тиску і подальше осадження. Подібно до процесу *автоосадження* даний процес може повністю перекрити пори та канали призабійної зони і зупинити роботу експлуатаційної свердловини [3].

Висновки. Нафтовидобувні компанії постійно витрачають колосальні кошти на боротьбу з відкладеннями солей. Сучасні промислові нафтовики користуються механічними, хімічними методами боротьби із солями та використовують інгібітори для попередження їх утворень

[5]. Використання цих методів є ефективним, але досить затратним. З метою попередження виникнення солей більш дешевим методом, можна використовувати моделювання. Для цього необхідно більш точно визначати всі гідроге-

ологічні умови на родовищі, насамперед визначати хімічний склад закачуваних та пластових вод, природні температурно-тискові умови (РТ), гідродинамічні особливості родовища та інші.

Література

1. Кацавцев В. Е. Солеобразование при добыче нефти [Текст] / В. Е. Кацавцев, И. Т. Мищенко. – М. : Орбита, 2004. – 432 с.
2. Scale Attack / Brown M. Full // Review, 30 The BP Technology magazine. – October-December 1998. – P. 30–32.
3. Fighting Scale-Removal and Prevention / Carbtree Mike // Oilfield Review. – Autumn 1999. – P. 30–45.
4. Geochemistry: Pathways and Processes / Richard SM and McSween HY // Englewood Cliffs, New Jersey, USA : Prentice-Hall, Inc. – 1989.
5. Опыт и перспективы ингибирования солеотложения на месторождениях ОАО «Юганскнефтегаз» [Текст] / А. Н. Семеновых, Д. В. Маркелов, В. В. Рагулин и др. // Нефтяное хозяйство, 2005. – №8. – С. 94–97.

УДК 624.15:631.431.6

*Ф.В. Чомко, доцент,

**Д.Ф. Чомко, к.геол.н., доцент,

***В.Г. Таранов, д.т.н., професор,

*Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,

**Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

***Харківський національний університет міського господарства

КОМПЛЕКСНЕ ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОВИМІРНОГО СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННЯХ НАБРЯКАЮЧИХ ҐРУНТІВ, ЯК ОСНОВИ ФУНДАМЕНТІВ

Запропоновано новий спосіб дослідження набрякаючих ґрунтів, як основи фундаментів, методами математичної статистики, що включає кластерний, факторний і кореляційно-регресійний аналізи. За результатами цих аналізів встановлено нормативні значення характеристик міцності цих ґрунтів залежно від їх фізичних властивостей і ступеня набрякання, межі застосування, переважаючі фактори і кореляційні залежності між різними показниками властивостей ґрунтів. Запропоновано спосіб зонування досліджуваної території, що призводить до можливості диференційного застосування нормативних характеристик ґрунтів. Розроблені пропозиції по проектуванню основ і фундаментів на набрякаючих ґрунтах. Методи випробувані на ґрунтах Судану.

Ключові слова: Набрякаючі ґрунти, фізичні властивості, ступінь набрякання, несуча здатність, зонування території, фундаменти, кластерний, факторний і кореляційно-регресійний аналізи, переважаючі фактори і кореляційні залежності.

Ф.В. Чомко, Д.Ф. Чомко, В.Г. Таранов. КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ НАБУХАЮЩИХ ГРУНТОВ, КАК ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТОВ. Предложен новый способ исследования набухающих грунтов, как основания фундаментов, методами математической статистики, включающей кластерный, факторный и корреляционно-регрессионный анализы. По результатам этих анализов установлено нормативные значения характеристик прочности этих грунтов в зависимости от их физических свойств и степени набухания, границы применения, преобладающие факторы и корреляционные зависимости между разными показателями свойств грунтов. Предложен способ зонирования исследуемой территории, что позволяет дифференцировать применять нормативные характеристики грунтов. Разработаны предложения по проектированию оснований и фундаментов на набухающих грунтах. Методы испытаны на грунтах Судана.

Ключевые слова: Набухающие грунты, физические свойства, степень набухания, несущая способность, зонирование территории, фундаменти, кластерный, факторный и корреляционно-регрессионный анализы, преобладающие факторы и корреляционные зависимости.

Постановка проблеми. Серед африканських країн Судан має найбільший ореал розповсюдження набрякаючих ґрунтів – біля 25 млн. га. В першу чергу це територія Великого Хартруму (столиці) і штату ель д'Жезіра (область між Білим і Голубим Нілом). Тут ведеться інтенсивне будівництво, і тому питання використання набрякаючих ґрунтів як основи для фундаментів має дуже велике значення.

Для Хартруму масове будівництво зводиться до спорудження відносно легких споруд: двох-, трьохповерхових котеджів і будівель виробничо-господарського призначення. Якихнебудь спеціальних досліджень ґрунтів і розра-

хунків фундаментів майже не передбачається. При такому будівництві через кілька років ці споруди, побудовані на набрякаючих ґрунтах, починають деформуватися. Витрати на ремонт і відновлення конструктивних елементів будівель дуже великі, щорічні збитки оцінюються в десятки мільйонів суданських фунтів.

Тому зараз дуже гостро стоїть питання удосконалення існуючих і розробці нових високоефективних розрахунково-теоретичних рішень, які будуть використовуватися при проектуванні, будівництві і експлуатації будівель і споруд, що зводяться на набрякаючих ґрунтах.