

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»
Навчально-науковий інститут нафти й газу
Кафедра прикладної екології та природокористування

ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему: **«РАЙОНУВАННЯ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА
ПОКАЗНИКОМ БІОКОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ ҐРУНТІВ»**

Виконала

студентка групи 601-мТЗ

Керівник:

к.т.н. доцент

О.Ю. Куш

О.М. Ганошенко

Полтава 2022

Зміст

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВІДОМИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ РОБОТИ.....	7
1.1 Аналіз небезпеки біокорозійних процесів.....	7
1.2. Аналіз бактеріального складу ґрунтів.....	16
1.3 Аналіз біоактивності типів ґрунтів Полтавської області в межах прокладання нафтопроводів.....	33
1.3.1. Аналіз досліджуваних ґрунтів.....	39
1.4 Обґрунтування теми магістерської роботи та постановка завдань дослідження.....	46
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ БІОКОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ГРУНТАХ.....	47
2.1. Визначення рН.....	47
2.2. Визначення SO_4^{2-} - іону.....	49
2.3. Окисно-відновний потенціал.....	49
2.4. Визначення біокорозійної активності.....	51
ВИСНОВКИ.....	56
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ БІОКОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ У ГРУНТАХ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	57
3.2. Експериментальна частина.....	64
3.3. Повний факторний експеримент.....	74
3.4. Побудова карт біокорозійної активності ґрунтів.....	79
3.5. Рекомендації, для перешкоджання утворенню біокорозії.....	83
ВИСНОВКИ.....	93
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	95

ВСТУП

Актуальність роботи. Нафтопроводи прокладаються через регіони з різними кліматичними зонами та інженерно-геологічними умовами, що призводить до руйнування трубопроводів та негативно впливає на навколишнє середовище та людей.

Зовнішня корозія є основною ознакою несправності трубопроводу. Третина аварій нафтопроводів спричинена корозією.

Великий вплив на корозію мають мікроорганізми, які присутні в ґрунті. Половину пошкоджень трубопроводів можна віднести на діяльність мікроорганізмів.

Корозія підземних трубопроводів є однією з основних причин їх розгерметизації внаслідок утворення тріщин і розривів.

Корозія нафтопроводів в підземному середовищі викликана сульфатвідновлюючими бактеріями

Аварійні витoki нафти і нафтопродуктів при їх транспортуванні завдають значних збитків навколишньому природному середовищу. Тому надійна робота трубопроводів є необхідною умовою їх експлуатації, а питання впливу біокорозійних процесів у ґрунтах на поверхню нафтопроводів є надзвичайно актуальною проблемою.

Метою роботи є : встановлення потенційно-небезпечних ділянок в межах прокладання нафтопроводу шляхом дослідження біокорозійної активності ґрунтів

Для досягнення поставленої мети розв'язувалися **такі завдання:**

1. Проаналізувати небезпеку біокорозійних процесів.
2. Проаналізувати наявність у ґрунтовому середовищі бактерій, що впливають на біокорозійні процеси.
3. Оцінити біологічну активність ґрунтів Полтавської області.
4. Визначення і аналіз рН, окисно-відновного потенціалу ґрунтів Полтавської області.
5. Виявлення сульфатредуючих бактерій у ґрунтах Полтавської області.

6. Побудова карт біокорозійної активності ґрунтів в межах Полтавської області.

Об'єкт дослідження. вплив чинників на біокорозійну активність ґрунтів Полтавської області.

Предмет дослідження. біокорозійний процес ґрунтів Полтавської області.

Наукова новизна:

- визначено бактеріологічний склад досліджуваних ґрунтів Полтавської області розташованих на межі нафтопроводів ;

- визначено корозійну активність досліджуваних ґрунтів Полтавської області в межах прокладання мережі нафтопроводів;

- побудовано таблиці біологічної активності досліджуваних ґрунтів;

- побудовано карти корозійної активності на межі прокладання мережі нафтопроводів для Полтавської області

1. Проведено аналіз наявних у ґрунтовому середовищі бактерій, що впливають на біокорозійні процеси.

2. Визначено фактори впливу на біокорозію ґрунтів рН та Eh(OBП) у поєднанні коефіцієнтом корозійної активності

3. Проведено аналіз наявних у ґрунтовому середовищі бактерій, що впливають на біокорозійні процеси.

4. Виділено потенційно-небезпечні райони на межі зміни типів ґрунтів. Визначено та проаналізовано рН та OBП.

5. Виявлено наявність сульфатредуючих бактерій та визначено коефіцієнт корозійної активності типів ґрунтів Полтавської області експрес методикою.

6. Розраховано математичні моделі, 2-х факторного експерименту за впливом швидкості корозії факторів рН та Eh(OBП)

7. Побудовано карти біокорозійної активності ґрунтів Полтавської області та визначено потенційно-небезпечні ділянки в межах прокладання нафтопроводів.

Практичне значення роботи:

- результати визначення зон корозійної активності ґрунтів на межі прокладання нафтопроводів можуть бути використані при обстеженні нафтопроводів на території Полтавської області
- пропонується використати в освітньому процесі студентів спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища на кафедрі прикладної екології та природокористування Національного університету "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка" в межах дисциплін: "Ґрунтознавство", "Техноекологія", "Екологічні аспекти нафтогазової справи"

Методи дослідження:

- експериментальні (при хімічному аналізі корозійних властивостей ґрунтів).
- аналітичні методи (при розробці карт біокорозійних процесів ґрунтів Полтавської області на межі прокладання нафтопроводів).
- математичні (при побудові математичної моделі та розрахунку коефіцієнта корозійної активності).

Результати досліджень впроваджені:

Результати роботи впроваджено в навчальний процес підготовки магістрів студентів спеціальностей 183 «Технології захисту навколишнього середовища» Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Особистий внесок автора. Всі основні результати наукової роботи одержані самостійно.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи.

Основні положення і результати роботи доповідалися й обговорювалися конференціях різних рівнів:

1. II Міжнародна науково-практична конференція «Екологія. Довкілля. Енергозбереження», присвяченої 203-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» 2021р.

2. ІХ Міжнародної наукової конференції молодих вчених. Х.:ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2021
3. І Міжнародна науково-практична конференція «Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022», 26-27 травня 2022 року.
4. VII Міжнародний молодіжний конгрес, 10-11 лютого 2022, Україна, Львів
5. Міжнародна науково-практична конференція "Відновлення та реконструкція довкілля: контекст війни 2022"

Публікації. За матеріалами кваліфікаційної роботи опубліковано 5 друкованих робіт.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота включає зміст, вступ, 3 розділів, загальні висновки, список використаних джерел з 40. Робота викладена на 99 сторінках основного тексту, включає 28 рисунків та 17 таблиць.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВІДОМИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ РОБОТИ

1.1 Аналіз небезпеки біокорозійних процесів

Ефективна та надійна робота підземних нафтопроводів є одними із головних чинників у роботі нафтової галузі, від яких буде залежати екологічна та енергетична безпека країни.

Нафтопровід – це комплекс споруд для транспортування нафти і продуктів її переробки від місця їх видобування або виробництва до пунктів споживання або перевалювання на залізничний або водний транспорт. До складу нафтопроводу входять підземні і підводні трубопроводи, лінійна арматура, головні і проміжні нафтоперекачувальні насосні станції, нафтосховища, лінійні і допоміжні споруди [1].



Рис. 1.1. Магістральна нафтопровідна мережа Полтавської області

Магістральні нафтопроводи прокладені через регіони з різними кліматичними зонами та інженерно-геологічними умовами. З інтервалом 10-30 км, залежно від рельєфу траси, на трубопроводі встановлюють лінійні засувки для перекриття ділянок у разі аварії чи ремонту.

Корозія є головною ознакою несправності трубопроводу та проблемою, що впливає на експлуатацію та витрати на обслуговування нафтопроводів. Підраховано, що майже 40% і 20-30% усієї внутрішньої та зовнішньої корозії трубопроводів на підземних трубопроводах, пов'язані з біокорозією [2].

Зовнішня корозія була визначена, як один із основних механізмів, що спричиняє руйнування нафтопроводів та потенційно негативно впливає на навколишнє середовище та населення [3-4].

Сьогодні нафтова промисловість приділяє велику увагу надійності та безпеці будівництва та експлуатації магістральних трубопроводів. Але незважаючи на це, аварійні ситуації, які виникають під час транспортування нафти, трапляються дуже часто.

Корозійне руйнування призводить не тільки до втрати труби в місці пошкодження, до витрат на ремонтно-відновлювальні роботи, до втрати продукту, що транспортується, але до значно більших втрат, пов'язаних з перебоями в постачанні нафтовим компаніям. Крім того, корозійні руйнування викликають екологічні проблеми (забруднення нафтою ґрунтів, річок, озер тощо).

Корозія нафтопроводів є причиною численних збитків навколишньому середовищу та промисловості, а саме: забруднення великих водних та ґрунтових площ, знищення рослинності та металу труб. Дослідники підраховали, що в розвинених країнах 3-4% валового національного доходу – пошкодження від корозії. Також корозія є причиною непрямих збитків завдяки яким виникає необхідність дострокового ремонту або заміни зруйнованого обладнання, втрати нафтопродуктів чи інших шкідливих речовин які утворені в результаті корозії, вони можуть призвести до пожеж, потужних вибухів з величезними матеріальними втратами та людськими

жертвами. Розлив нафтопродуктів є найбільшим серед забруднень навколишнього середовища, що викликають забруднення води та ґрунту.

Корозія, заводський брак, дефекти зварних з'єднань є основними причинами порушення нормального функціонування магістрального трубопроводу в експлуатаційних умовах. У різних джерелах міститься інформація про статистичні дані аварій, в яких головним фактором є наявність корозії. У нашій країні велика кількість підземних нафтопроводів. Тому проблема безпечної експлуатації й підвищення довговічності трубопроводів, залишається актуальною й своєчасною.

Розглянемо аварії на нафтопроводах в Україні, які мали значний вплив на навколишнє середовище.

За даними Головного управління НС у Закарпатській області, у вересні 2003 року був зафіксований аварійний розрив нафтопроводу «Дружба». Розлив склав близько 7 км [5].

Витік з трубопроводу ВАТ НПК "Галичина" 1 т нафти, біля села Лішня Дрогобицького району, стався через пошкодження труби внаслідок корозії. Забруднення ґрунту становило 129 м²[6].

У Закарпатській області 17 січня 2009 року біля села Кострино сталася аварія через розгерметизацію магістрального трубопроводу. Внаслідок аварії забруднено 34 300 м² земельних ресурсів, з них: землі житлової забудови – 7 100 м², землі сільгосп призначення – 25 200 м², землі природно-заповідного фонду (Ужанський національний природний парк) – 2 000 м². Всього в навколишнє середовище потрапило 60 тонн нафтопродуктів. Збитки, завдані довкіллю, оцінюють у 123 тисячі гривень[7].

У лютому 2011 року в селі Петричі Буського району через розгерметизацію нафтопроводу внаслідок корозії металу стався розрив трубопроводу ДП «Прикарпатзахідтранс». Забруднення ґрунту становило 250 м².

Аварія в Закарпатській області в 2014 р. поблизу с. Бенедиківці. З гілки магістрального нафтопроводу "Дружба" на магістралі "Броди Держкордон"

діаметром 700 мм виявлено витік нафти за межі охоронної зони, внаслідок чого утворилася масляниста пляма на площі близько 0,7 га (7000 м²). Було припинено витік нафтопродукту та проведено роботи з очищення території (відкачування нафтопродуктів та зняття забрудненого шару ґрунту) [8].

Серед світових країн ситуація із трубопроводами також є складною. З 1956 року, коли в Нігерії було виявлено нафту, країна постійно страждає від негативних наслідків вибухів і витіку нафти. За 20 років (1976-1996) сталося 4647 аварій, в навколишнє середовище вилилося в цілому 2 369 470 барелів нафти. Найбільшою аварією в історії Нігерії став розрив нафтопроводу компанії Mobil в 1998 році.



Рис. 1.2. Найбільша аварія Нігерії у 1998 році на нафтопроводі

Компанія Mobil розпочала видобуток нафти в нігерійському штаті Аква-Ібом близько 30 років тому. Нафтопроводи, що з'єднують 14 бурових платформ на прибережному шельфі, доставляють нафту до нафтового терміналу в Ква Бо. Через високу схильність трубопроводів до корозії і раніше там траплялися розриви та розливи нафти. Нафтопроводи прокладені на території вкрай бідних населених пунктів, і місцеві жителі часто роблять врізи в трубопроводах, бажаючи поживитися «безкоштовної» нафтою. У Нігерії поширені крадіжки нафти, що призвело до сотень смертей за останні кілька років.

У грудні 2014 р. сталася аварія на нафтопроводі Ашкелон – Ейлат, Ізраїль. Одна з найважчих аварій 2014 року сталась 5 грудня на нафтопроводі Ашкелон - Ейлат на півдні Ізраїлю. 21 900 барелів нафти вилилося з прорваної труби в пустелю Арава. Екологи зазначили, що це найбільша аварія за всю історію Ізраїлю. Розслідування показало, що витік нафти стався через необережність під час ремонтних робіт, під час яких було пошкоджено трубопровід. Економічні збитки держави через розрив нафтопроводу склали \$7,6 млн.





Рис. 1.3. Аварія на нафтопроводі Ашкелон – Ейлат, Ізраїль (2014 р.)

Визначено, що найбільша кількість аварій спостерігається в США. Отже, проаналізувавши відомі дослідження, ми виявили низку аварій на нафтопроводах. У середньому 85% продукції, втраченої під час аварійних ситуацій, не підлягають відновленню, 53% аварій призводять до забруднення ґрунту, а 41% аварій торкнулися екологічно чутливих територій. Основними причинами аварій на нафтопроводах є корозія трубопроводів (внутрішня та зовнішня), конструктивні дефекти, механічні пошкодження (у тому числі земляні роботи), відводи, несанкціоновані врізання, діяльність сторонніх осіб, недосконалість експлуатації нафтопроводів, виробничий брак труб і стихійні лиха. [9].

Дослідивши аварії за період з 1997 до 2022 року на нафтопроводах, які трапились внаслідок зовнішньої корозії, нами була сформована таблиця 1.1.

Аналіз аварій на нафтопроводах спричинених зовнішньою корозією з 1997 по 2022

Країна	Дата	Місце	Причина аварії	Наслідки
Канада[10]:	1997 (2 грудня)	поблизу Кабрі, Саскачеван	розрив спричинений зовнішньою корозією	пошкодження навколишнього ґрунту та рослинності.
	1999 (20 травня)	на схід від Реджини, Саскачеван.	відбувся розрив лінії трубопроводу через наявність поздовжньої або радіальної корозійно- втомної тріщини на	викинуто 3123 м ³ важкої сирої нафти, 3,6 га сільськогосподарських угідь постраждали від сирої нафти.
	2001 (17 січня)	поблизу Хардісті, Альберта.	точкова корозія на поверхні труби біля шва	Приблизно 3800 м ³ сирої нафти було викинуто та утримано на ділянці площею 2,7 га.
	2001 (29 вересня)	поблизу Бінбрука, Онтаріо.	комбінація локалізованої корозії та наскрізного розтріскування стінки в основі найглибшої зони втрати металу.	на сільськогосподарському полі, засіяному соєю. Приблизно 95 м ³ сирої нафти було викинуто, вплинувши на ділянку землі площею 0,67 га.

Продовження таблиці 1.1

Канада:	2007 (15 квітня)	поблизу Гленавона, Саскачеван.	корозійне розтріскування.	Було викинуто приблизно 990 м ³ сирої нафти, з яких приблизно 912 м ³ було вилучено. Постраждалих немає.
	2010 (11 березня)	Бронте-Крік в Оквіллі, Онтаріо	розрив спричинений корозію	89,97 м ³ бензину викинуто в струмок, ґрунт і ґрунтові води.
США[11]:	2006 (12 серпня)	в Ромеовіллі, штат Іллінойс	зовнішня корозія	Близько 223,3 м ³ США (220 000 л) бутану було втрачено. Постраждалих немає
	2006 (13 січня)	поблизу Індепенденс, штат Канзас	зовнішня корозія.	вилитося близько 511,03 м ³ нафтопродукту, з яких близько 93 м ³ було втрачено.
	2010 (17 серпня)	в Хаммонді, штат Індіана	зовнішня корозія трубопроводу	викинуто близько 143,8 м ³ суміші. Близько 18,9 м ³ розливу не вдалося відновити.
	2015 (21 січня)	Гонолулу, Гаваї	через зовнішню корозію	вилитись близько 158,97 м ³ нафтопродукту, з яких близько 83,27 м ³ було втрачено

Продовження таблиці 1.1

	2015 (25 лютого)	в окрузі Наварро поблизу міста Доусон, штат Техас	В місці розриву труба втратила 80% своєї товщини через зовнішню корозію	розлив 7,949 м ³ сирої нафти
	2015 (10 квітня)	штат Пенсільванія	причиною стала зовнішня корозія.	розлив 6,05 м ³ змішаних нафтопродукті.
	2015 (18 червня)	у штаті Вікторія, Техас	через зовнішню корозію (виготовлена в 1944 році)	матеріальних збитків на 159 346 доларів США.
	2016 (29 серпня)	поблизу Світвотера, штат Техас.	зовнішня корозія труби	розлито близько 1366,5 м ³ сирої нафти.
	2018 (13 грудня)	біля Лас-Крусес, штат Нью-Мексико	зовнішня корозія	1748,9 м ³ бензину було вилито в зрошувальну канаву деякі з них, потрапили в ґрунтові води.

Підвищення надійності та довговічності трубопроводів є складною проблемою, яка включає технічні, технологічні, економічні та організаційні аспекти. Багато досліджень вітчизняних і зарубіжних авторів, ще не вирішили всі проблеми пов'язані з мікробною корозією. Постійні розриви трубопроводів вимагають пошуку нових технічних рішень, спрямованих на забезпечення їх надійної експлуатації, підвищення довговічності й стабільності функціонування.

1.2. Аналіз бактеріального складу ґрунтів

Корозія — це електрохімічний процес, що складається з двох часткових реакцій: анодної реакції, під час якої метал роз'їдається, і катодної реакції, у якій відновлюються певні речовини. При попаданні в ґрунт чистих металів або їх сплавів відразу виникає корозія. У деяких випадках мікроорганізми з біоплівки потрапляють на поверхню металу, тим самим сприяючи корозійним реакціям.

Мікроорганізми, присутні в ґрунті, мають великий вплив на корозію. Біокорозія - вид корозійного руйнування під впливом мікроорганізмів. Продукти життєдіяльності різних мікроорганізмів, які є у воді та ґрунті, посилюють процес корозії.

Не можна недооцінювати роль мікробіологічних процесів у руйнуванні підземних металокопункцій. За оцінками зарубіжних дослідників корозії, понад 50% пошкоджень металевих копункцій трубопроводів можна віднести на рахунок діяльності мікроорганізмів. Незважаючи на вдосконалення методів захисту, довжина пошкоджених трубопроводів в Англії щорічно збільшується на 3-4%, особливо в мулистих ґрунтах, які сприяють розвитку мікробіологічної корозії. У США біокорозія залізних труб, яка розвивається внаслідок життєдіяльності сульфатвідновлюючих бактерій, оцінюється в 500-2000 млн доларів на рік. Дані багаторічних спостережень за станом підземних споруд Нью-Йорка показали, що активна корозія відбувається, як правило, в ґрунтах, які погано аеруються і містять органічні

речовини. У 81% випадків інтенсивна корозія супроводжувалася високою бактеріальною активністю сульфатредуючих бактерій і підвищеним вмістом сульфідів заліза[13].

Дія мікроорганізмів на метали може відбуватися по-різному. Крім того, корозію металів можуть викликати агресивні метаболіти мікроорганізмів - мінеральні та органічні кислоти та основи, ферменти та інші. Вони створюють корозійно-активне середовище, у якій у присутності води протікає корозія за звичайними законами електрохімії. Колонії мікроорганізмів можуть створювати на поверхні металів нарости та плівки міцелію або слизу, під якими може розвиватися піттингова корозія внаслідок різниці електричних потенціалів на різних ділянках поверхні металу та асиміляції іонів металів самими мікроорганізмами .

Бактерії дуже швидко розмножуються та легко пристосовуються до різних умов навколишнього середовища. Останнє пояснюється тим, що вони можуть адаптивно утворювати ферменти, необхідні для перетворення середовища в поживну речовину. Бактерії, життєдіяльність яких протікає в кисневих середовищах, відносять до аеробних, у безкисневих середовищах – до анаеробним. У природних середовищах аеробні та анаеробні мікроорганізми співіснують. У процесі беруть участь бактерії багатьох видів, пов'язані між собою та спільно, що зумовлюють явище біологічної корозії. При цій умови для існування анаеробних бактерій часто можуть бути створені діяльністю аеробних бактерій.

Участь мікроорганізмів у корозії проявляється у різних випадках і може протікати різними шляхами. З мікроорганізмів, які беруть участь у процесах корозії, велику роль відіграють сульфатвідновлювальні бактерії типу *Sporovibrio desulfuricans*, які також називають *Desulphovibrio desulphuricans* або *Spirillum*, або *Bacillus*, або *Microspira*, або *Vibrio*. Характерною особливістю корозії металоконструкцій під дією сульфатредуючих бактерій є те, що вона протікає в анаеробних умовах і характерна для підземних споруд та конструкцій, що знаходяться в щільних

глинистих та водоносних шарах ґрунту. Джерелом вуглецю для них служать органічні речовини. Слід зазначити, що мікробіологічна корозія цього типу, як правило, є вторинним процесом і розвивається слідом за звичайною електрохімічною корозією. При цьому під шаром іржі - продукту корозії - створюються сприятливі анаеробні умови для розвитку сульфатредуючих бактерій.

Іншими бактеріями, які є збудниками біокорозії, є тіонові бактерії типу *Thiobacillus thiooxidans*, сіркобактерії типу *Thiobacillus thiooxidans*, залізоспоживаючі типу *Gallionella ferruginea*, водозв'язуючі типу *Hydrogenomonas flava*, залізні бактерії типу *Crenothrix* і *Leptothrix* і нітратовідновлюючі типу *Thiobacillus denitrificans*.

З діяльністю залізобактерій пов'язують мікробну аеробну корозію металовиробів. Поселяючись на них, бактерії утворюють слизові накопичення, що володіють високою механічною міцністю, обумовленою волокнистою структурою оболонок залізобактерій. Корозія починається з утворення на поверхні жовтих або темно-коричневих нальотів або каверн, що складаються з гідроксиду тривалентного заліза. Каверни формуються, зазвичай, на нерівностях виробів, маючи ускладнений доступ кисню. Таким чином, розвиток залізобактерій призводить до утворення на поверхні металу зон з різним ступенем аерації. Виникнення корозійного струму обумовлено утворенням пар диференціальної аерації з різними значеннями електродних потенціалів, встановлюються на ділянках, покритих кавернами та вільних від них. Ділянки під кавернами функціонують як аноди, добре аерованих ділянках з більш високим потенціалом протікає катодна реакція деполяризації.

У місцях скупчення залізобактерій спостерігається велика кількість нерозчинних залізистих сполук, які збільшують гетерогенність поверхні. Це явище також має вплив на швидкість ґрунтової корозії.[14]

Крім того, внаслідок інтенсивного споживання кисню залізобактеріями та зростання відкладень $Fe(OH)_3$ посилюються анаеробні умови на анодних

ділянках, що призводить до збільшення різниці потенціалів між катодом і анодом, а отже, до прискорення процесу корозії. Таким чином, механізм мікробіологічної корозії за участю залізобактерій пояснюється поєднанням перерахованих вище процесів.

Сформовано таблицю в якій наведені характеристики мікроорганізмів окремих типів, котрі беруть участь в процесах біокорозії(табл. 2.1).

Деякі бактерії та грибки можуть впливати на процес корозії; вони утворюють мікробіологічну плівку на поверхні змоченого водою металу, що сприяє утворенню елементів концентрації. У природі найбільш поширені сульфатвідновлюючі бактерії. Вони невидимі неозброєним оком. Зазвичай їх довжина становить 4 мкм, товщина - 1 мкм. Найбільш сприятливим середовищем для розвитку цих бактерій є ґрунти з рН від 5 до 9 (оптимально 6-7,5). при температурі 25-30 ° і питомому опорі 500-20000 ом-см. Зростання сульфатвідновлювальних бактерій стимулює чорний мул та залишки розкладання рослинного чи тваринного світу. В результаті дії цих бактерій утворюється сірководень, який, з'єднуючись із залізом, дає сірчисте залізо.

Аеробний тип корозії здійснюється за наявності у воді достатньої кількості вільного або розчиненого кисню. До аеробної корозії схильні бетонні та сталеві водопроводи, насоси та різне обладнання системи водопостачання, кам'яні, бетонні конструкції та сталеві конструкції підземних споруд, де утворюється кисла вода. Збудниками аеробної корозії є тіонні, нітрифікуючі та залізобактерії. В результаті життєдіяльності тіонних і нітрифікуючих бактерій створюються агресивні корозійні середовища за рахунок накопичення сірчаної та азотної кислот - кінцевих продуктів їх метаболізму. Участь залізобактерій у процесі корозії пов'язана з утворенням диференціально аеруючих клітин. Анаеробні бактерії найбільш активні навесні, доказом цього є виявлення сильної корозії в цей період року.

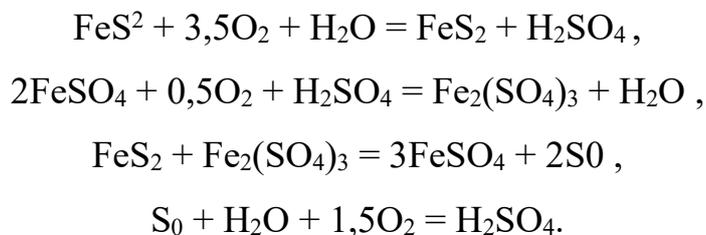
Тіонні бактерії відповідають за утворення різноманітних відновлених сполук сірки, які здійснюють один з етапів перетворення цього елемента в природі. Тіонові бактерії широко поширені не тільки у водоймах, а й у

грунтах, і в гірських породах, що руйнуються. Вони відіграють провідну роль в окисленні неорганічних сполук сірки.

Представниками тіонових бактерій є *Thiobacillus thiooxidans*, *Thiobacillus thioararus* та ін.. Тіонні бактерії є типовими хемолітотрофами, які розвиваються в простих мінеральних середовищах. Джерелом азоту для них служать амонійні солі або нітрати. Тіонні бактерії ростуть при різних значеннях рН. Серед них є термофіли (*Thiospirillum pistiense*) з оптимумом росту 50°C і вище. Значна кількість їх підкреслена в термальних джерелах вулканічного походження. Наявність мінерального середовища поблизу вулканів і сірчаної кислоти у джерелах води пояснюється діяльністю тіонних бактерій. Вони є енергійними окислювачами сірководню.

Ці бактерії в природних умовах окислюють сульфіді і вилуговують метали. Доведено, що основна роль в окисленні широкого спектру сполук сірки до сульфатів належить представникам роду *Thiobacillus*. У зв'язку з цим роль тіонових бактерій як фактора агресивних середовищ дуже велика. Тіонні бактерії, що володіють потужним ферментативним апаратом, за своєю окислювальною активністю можуть конкурувати з агентами хімічних процесів окислення сульфідів металів, елементарної сірки, сульфату заліза.

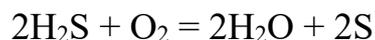
Відомо, що швидкість бактеріального окислення дисульфиду заліза в кислому середовищі в мільйони разів перевищує швидкість хімічного окислення. У процесі бактеріального окислення піриту відбуваються хімічні реакції, в результаті яких відбувається активне зниження рН середовища за рахунок утворення сірчаної кислоти:



Роль тіонових бактерій, як факторів корозії металу, обмежується не тільки утворенням сірчаної кислоти. *Thiobacillus ferrooxidans* окислює окислений сульфат заліза до оксиду, який є надзвичайно агресивним по

відношенню до металевих конструкцій, оскільки діє як активний окислювач. Окислене залізо, приймаючи електрони від поверхні сталі або заліза, відновлюється до окисленого заліза, яке, у свою чергу, знову окислюється до окисленого заліза бактерією *Thiobacillus ferrooxidans*. В умовах, сприятливих для розвитку тіонових бактерій, процес утворення окисного заліза може бути безперервним, внаслідок чого виникає загроза постійного руйнування металу під дією цієї сполуки. Зрозуміло, що корозійні процеси за участю тіонових бактерій можуть відбуватися в системі водопостачання при транспортуванні води з низькими значеннями рН і змістом сульфідів (сірководневих речовин).

Інформації про корозійну активність сіркобактерій ще мало. Тіла бактерій містять сполуки сірки, що ще раз пояснює їх здатність впливати на корозію заліза. Сірчані бактерії отримують енергію, необхідну для своїх життєвих процесів, головним чином за рахунок окислення сірководню. Реакція протікає наступним чином:



Сірка, що утворилася може окислюватися в сульфатну кислоту:



Корозія підземних вод залежить від вмісту в них мікроорганізмів і може посилюватися ними в 11-13 разів. При цьому опір вуглецевої сталі нижчий, ніж у хромистої. Втрати заліза внаслідок аеробної корозії можуть досягати 30 - 100 мг/(дм²•добу).

Характеристики мікроорганізмів окремих типів та їх особливості

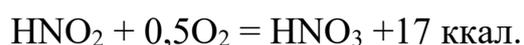
Тип бактерії	Потреба в кисні	Відновлювані або окислювані компоненти ґрунту	Головні кінцеві продукти	Місце проживання	Значення рН		Межі температури для життєдіяльності	
					Оптимальні	Граничні	Оптимальні	Граничні
Сульфатвідновлювальні	Анаеробні	сульфати, тіосульфати, сульфіди, сірка	Сірководень	Вода, бруд, стічні води, нафтові свердловини, ґрунт, донні осадки, цемент	6-7,5	5,0-9,0	25-30	Макс. 55-65
Сіроокислювальні	Аеробні	Сірка, сульфіди, тіосульфати	Сірчана кислота	Ґрунтові складові, сірчані та гірські породи фосфати, ґрунти, що містять неповністю окислені сірчані	2,0-4,0	0,5-0,6	28-30	Повільний ріст при 18-37

				сполуки				
Тіонові	Аеробні	Тіосульфати, сірка	Тіосульфати до сульфатів та сірки, сірка до сульфатів	Морська та річкова вода, бруду стічні води, ґрунт	Близько до нейтральних	7,0-9,0	30	-
Залізні	Аеробні	Карбонат заліза, бікарбонат заліза, бікарбонат магнію	Гідрат окису заліза	Стічна та проточна вода містить солі заліза та органічні речовини	-	-	24	5-40
Нітратовідновлюючі	Факультативно аеробні або мікроаеро-фільні	Сірка, сірководень, тіосульфати, тетратіонати	Окислюють сульфати до сірки за анаеробних умов, вживаючи нітрат як споживач водню, який відновлюється до азоту	Ґрунт, торф, бруду, вода річок і каналів	7,0-9,0	5,0-10,0	30	-

Тіобактерії, або сірчані бактерії, окислюють сірку або відновлюють неорганічні сполуки сірки з утворенням сірчаної кислоти.

Життєдіяльність залізобактерій полягає в споживанні іонів заліза або марганцю і переробці їх разом з киснем, що супроводжується виділенням нерозчинного гідрату оксиду заліза як продуктів корозії. Для розвитку бактерій вода повинна містити невелику кількість вільного газоподібного кисню та солей заліза та марганцю.

Виникнення кислих агресивних середовищ може відбуватися і в результаті діяльності нітрифікуючих бактерій. Процес нітрифікації пов'язаний з утворенням азотної кислоти за рахунок окислення аміаку. Окислення його відбувається у дві фази:



Збудниками першої фази нітрифікації є представники *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis* та ін., збудниками другого - *Nitrobacter vinogradskii*.

Участь залізобактерій в процесі аеробної корозії, на відміну від участі тійонних і нітрифікуючих бактерій, зводиться до іншого механізму - утворення диференціально аеруючих клітин на поверхні кородуючого субстрату. Суть механізму утворення диференціально аеруючих клітин полягає в наступному. У трубах з проточною водою, що містить кисень, фіксуються залізобактерії, які утворюють слизові скупчення. Завдяки волокнистій структурі оболонок залізобактерій ці скупчення мають високу механічну міцність, що пояснює їх стійкість до течії води в трубі. Ділянки трубопроводу, не схильні до обростання залізобактеріями, омиваються водою, що містить кисень, і, отже, добре вентилуються. Поверхня труби, яка знаходиться під охристими відкладеннями (колонії залізобактерій), яка не омивається водою і тому менш аерована. Таким чином, завдяки росту залізобактерій на поверхні внутрішньої стінки труби створюються диференціально аеровані клітини, в яких вентильовані зони мають більш високий потенціал і функціонують як катоди; менш аеровані, що зазнали

обростання, діють як анод. В анодній зоні металеве залізо розчиняється за рівнянням: $Fe = Fe^{2+} + 2e$, що свідчить про початок процесу корозії.

Значення рН, при якому існують залізобактерії, знаходиться в діапазоні від 4 - 10, а температура води в діапазоні від 5 - 40 °С. При цьому вода повинна містити невелику кількість газоподібного кисню, заліза і марганцевих солей, а також органічні речовини. В якості джерела вуглецю слугує розчинений у воді оксид вуглецю (IV), а джерелом азоту - аміак.

Бактерії окислюють залізо всередині своїх клітин, отримують енергію від окислення заліза та органічних речовин. Вони отримують кисень з води. Реакція окиснення заліза і мангану може протікати наступним чином:



Залізобактерії отримують енергію для свого розвитку за рахунок наступної реакції:



Тому після механічного руйнування мінералізованих відкладень охри під ними можуть виявлятися корозійні пошкодження матеріалу труб. Очевидно, що в корозійній діяльності залізобактерій важливе значення має також їх каталітична активність і збільшення швидкості корозії за рахунок продукту метаболізму – пероксиду водню.

Основними збудниками анаеробної корозії є сульфатвідновлюючі бактерії, відповідальні за відновлення сульфатів до сірководню, і відносяться до родів *Desulfovibrio* і *Desulfotomaculum*.

Сульфатвідновлюючі бактерії

В даний час існує декілька гіпотез щодо механізму анаеробної корозії сталі, заліза і алюмінію під дією сульфатвідновлювальних бактерій, з яких представляють інтерес наступні:

- катодна деполяризація, що проявляється в стимуляції катодної зони металу, що кородує, переміщенням і споживанням поляризованого водню бактеріями;

· стимуляція катодної деполяризації твердими сульфідами заліза, що утворюються в результаті взаємодії іонів заліза з сульфід - іонами, які є кінцевим продуктом бактеріального відновлення сульфатів.

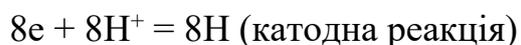
Суть процесу полягає в тому, що сульфатвідновлюючі бактерії використовують сульфідну плівку (сульфід заліза) як катод, здійснюючи катодну деполяризацію за допомогою водню для подальшого відновлення сульфатів. Оскільки сульфід заліза, утворений сульфатвідновлювальними бактеріями, виконує роль катода, а на залізі (аноді) відбувається корозійне руйнування, створюються сприятливі умови для двох вищезгаданих електрохімічних реакцій.

При сірководневій корозії, спричиненій життєдіяльністю сульфатвідновлювальних бактерій, інтенсивно протікають такі реакції: іон металу, зв'язуючись із сульфід-іоном, послаблює перенапругу концентрації іонів металу в приелектродному шарі; , прискорюючи анодну реакцію; сульфатвідновлюючі бактерії, знижуючи перенапруги H₂ в приелектродному шарі, прискорюють реакцію. Тому сумарний процес двох реакцій забезпечує прискорення корозії в порівнянні з хімічної сірководневої корозією (без участі сульфатвідновлюючих бактерій) в десятки і сотні разів; сульфатвідновлюючі бактерії прискорюють корозію в анаеробній зоні за рахунок утилізації катодного водню за допомогою гідрогеназної системи. Мікробіологічна корозія більше пов'язана зі споживанням водню, ніж відновленням заліза. Гірогеназна активність розглянутих мікроорганізмів підтверджена дослідженням їх безклітинних екстрактів.

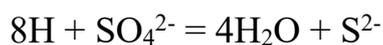
У вологому середовищі спочатку відбувається анодне окиснення заліза:



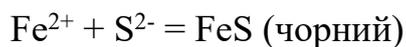
При цьому звільнені електрони відновлюють іони водню до елементарного водню:



Анаеробні бактерії можуть спонукати цей елементарний водень каталітичної реакції з сульфатами:



При цьому можуть утворюватися продукти корозії:



У 1952 році Бутлін та його колеги встановили механізм реакції корозії заліза сульфатвідновлювальними бактеріями, який можна представити наступним рівнянням:

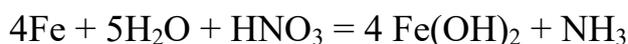


Явища корозії, які спостерігаються при корозії сталі сульфатредуцуючими бактеріями, звичайно уявляють собою пітинги. При цьому на поверхні металу утворюється чорна кірка, яка містить велику кількість білого гідроксиду заліза (II). У продуктах корозії сульфід заліза завжди знаходиться зовні, а гідроксид заліза (II) — зсередини.

Нітродновлюючі бактерії

Відновлення солей азотною кислотою відбувається за рахунок великої кількості різних бактерій. Якщо ще 10 років тому не були впевнені в тому, що нітродновлюючі бактерії впливають на корозію, то в останні роки з'явилося багато робіт, що показують, що ці мікроорганізми викликають корозію заліза.

Фон Вольцоген-Кур характеризує корозію наступним чином:



За новими дослідженнями амоніфікуючі бактерії можуть прискорювати корозію сталі в морській воді в 1,5 - 1,7 разів.

Бактерії знижують значення рН біля сталевих поверхні до 0,14. При сприятливих умовах для дії бактерій середня швидкість корозії досягає 0,1338 г/(м²•год) проти 0,0176 г/(м²•год) без участі бактерій.

Водозв'язуючі. Бактерії грають роль каталізаторів, активізуючи дію кисню. Найбільш сприятливим середовищем для життя є вода з рН понад 7 і значним вмістом органічних речовин.

Таким чином, вплив біологічного фактору на корозійний процес може проявлятися шляхом безпосереднього впливу на метал продуктів, що виробляються мікроорганізмами, так і шляхом полегшення деполяризації. Деякі бактерії утворюють на металі плівки, що сприяють виникненню корозійних елементів диференціальної аерації.

Бактерії швидко розмножуються і легко пристосовуються до фізичних, хімічних, біологічних умов середовища, які швидко змінюються. Мікроорганізми, які у якості джерела енергії використовують неорганічні речовини, виділяють особливу групу літотрофних бактерій. До таких бактерій відносять .

- водневі, що окислюють водень з утворенням води;

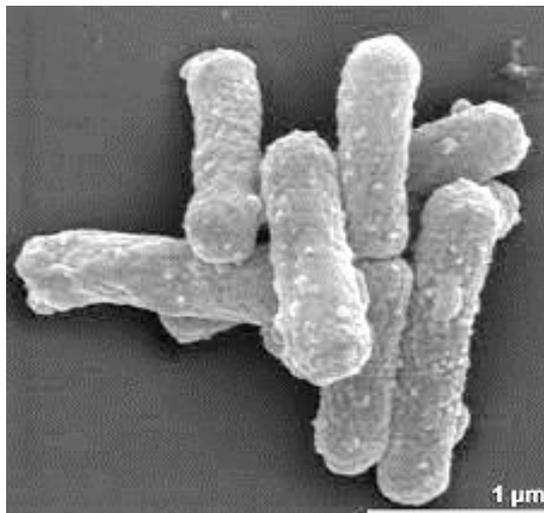


Рис. 1.4 *Hydrogenobacter thermophilus*

- нітрифікуючі, що окислюють аміак до азотної кислоти (*Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrobacter*)

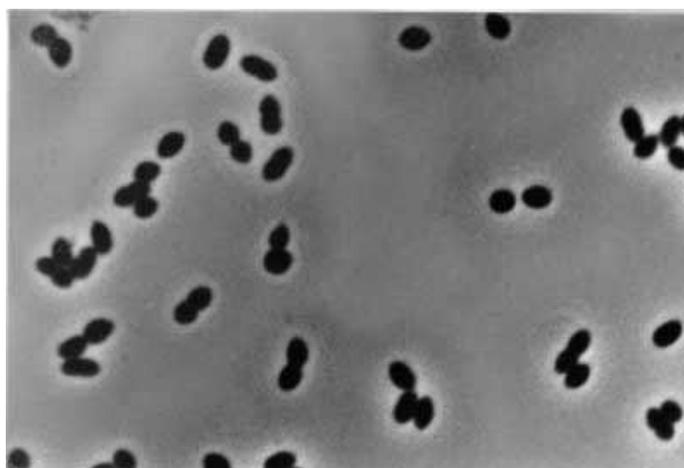


Рис. 1.5. Nitrosomonas

- тіонові, що окислюють сірководень о елементарної сірки, яка накопичується всередині клітин, або елементарну сірку до сірчаної кислоти (Thiobacillusthiooxidans) або сірчанокисле залізо окисного у кислому середовищі (Thiobacillusferrooxidans);

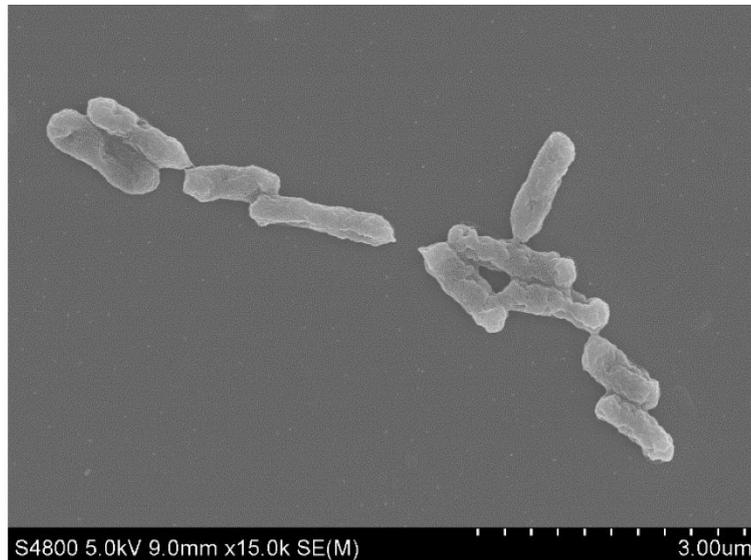


Рис 1.6. Acidithiobacillus ferrooxidans

- залізобактерії, які окиснюють закисне залізо до окисного (Gallionella)та ін. в нейтральних середовищах;

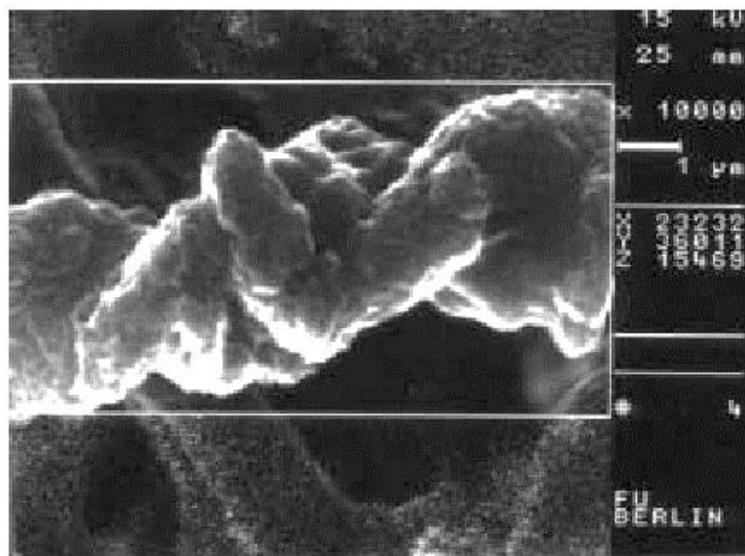


Рис 1.7. Gallionella

- метаноутворюючі, що стимулюють природний синтез метану з вуглекислоти і водню в анаеробних умовах;

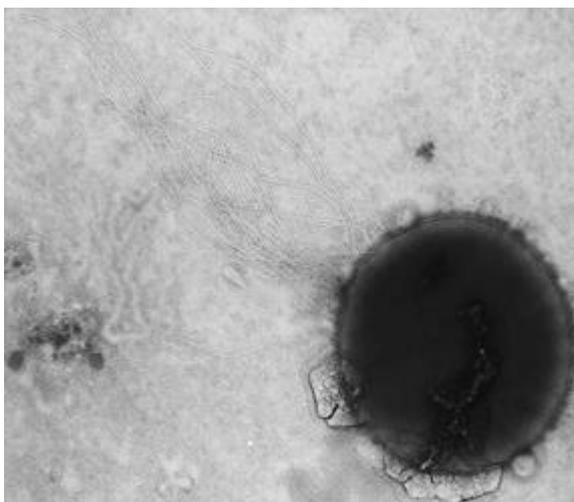


Рис. 1.8. *Methanococcus maripaludis*

- сульфатвідновлювальні (СВБ), життєдіяльність яких відбувається за рахунок процесу відновлення сульфатів до сірководню. Потребують органічних речовин, наприклад, вуглеводнів; СВБ – основні руйнівники нафти та нафтопродуктів, суттєво впливають на корозію металів (*Desulfovibriodesulburicans*, *DesulfovibrioVulgaris*, *Desulfovibriosabexigenes*, *Desulfovibriogigas*, *Desulfovibrioafricans*, *Desulfovibrio thermophilus* та *Desulfotomaculum* чотирьох видів);

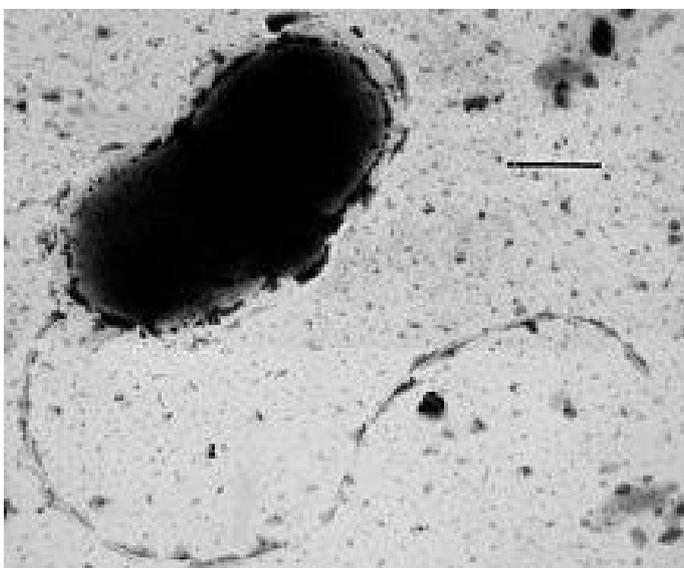
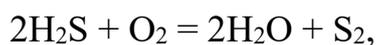


Рис. 1.9. *Desulfovibrio vulgaris*

У місцях найбільшої кількості сіркобактерій концентрація сірчаної кислоти може досягати 10%. Це дуже сильно прискорює ґрунтову корозію, особливо стали. При рН ґрунту близько 4 - 10 розвиваються бактерії, переробні залізо. Ці бактерії в процесі своєї життєдіяльності поглинають іони

заліза, а виділяють нерозчинні сполуки, що містять Fe. У місцях скупчення залізобактерій спостерігається велика кількість нерозчинних залізистих сполук, які збільшують гетерогенність поверхні. Це явище також має великий вплив на швидкість ґрунтової корозії.

У процесі життєдіяльності вони окислюють сірководень до сірки, а потім до сірководню за рівняннями .



та



Утворена сірчана кислота може викликати інтенсивну біологічну корозію сталевих трубопроводів.

- нітровідновлюючі, що викликають у ґрунті процес денітрифікації – відновлення окислених форм азота за схемою: нітрат – нітрит – азот – аміак (Thiobacillusdenitrificansta ін.)

Літотрофні мікроорганізми беруть пряму участь в утворенні корисних копалин (самородна сірка, селітра, пірит, газ). Ці ж мікроорганізми беруть участь у руйнуванні металокопункцій, стимулюючи процеси переходу і руйнування полімерних і неорганічних матеріалів, утворюючи агресивні середовища.

- бактерії, що поглинають марганець. Продуктам їх життєдіяльності є відкладення на поверхні металу горбків з гідроокису заліза та марганцю. Під такими горбками в анаеробних умовах виникає корозія металів. Зазвичай у корозійному процесі беруть участь бактерії багатьох видів спільно обумовлюючи корозію. При цьому анаеробні умови часто можуть бути створені діяльністю аеробних бактерій. При аерації ґрунту відновлюючі бактерії гинуть, а окислюючі розвиваються.

У природі аеробні і анаеробні бактерії існують поряд. У ґрунтах найбільш інтенсивна корозія спостерігається в болотистих місцях (рН=6,8...7,8), насичених органічними залишками зі зниженим вмістом кисню. Поверхня копункцій, що мають значну протяжність (трубопровід),

стає анодною по відношенню до ділянок, що контактують з більш аерованим ґрунтом, і корозія прискорюється. В анодних зонах можливе окиснення гідроокису заліза залізобактеріями. Бактерії можуть ініціювати корозію міді з утворенням сульфідів [15].

У місцях найбільшої кількості сіркобактерій концентрація сірчаної кислоти може досягати 10%. Це дуже сильно прискорює ґрунтову корозію, особливо стали. При рН ґрунту близько 4 - 10 розвиваються бактерії, переробні залізо. Ці бактерії в процесі своєї життєдіяльності поглинають іони заліза, а виділяють нерозчинні сполуки, що містять Fe. У місцях скупчення залізобактерій спостерігається велика кількість нерозчинних залізистих сполук, які збільшують гетерогенність поверхні. Це явище також має великий вплив на швидкість ґрунтової корозії.

В даний час не існує єдиної теорії, що розкриває механізм участі СВБ у корозії металів. Кількісне визначення вкладу мікробної складової у загальний механізм корозійного руйнування становить відому труднощі, оскільки неоднозначна відповідь про шляхи втручання СВБ та інших мікроорганізмів у цей процес. При цьому необхідно враховувати, що мікроорганізми беруть участь у найбільш небезпечній частині корозійних процесів, а саме, у місцевих корозійних руйнуваннях (піттингу, корозійному розтріскуванні тощо), на що вказує характер корозійних ушкоджень. У лабораторних умовах найбільші труднощі зустрічає моделювання саме місцевих, локальних видів корозійних поразок, настільки поширені.

Вклад бактерій у корозію пояснюється одним або декількома з наступних механізмів:

1. Прямий вплив на швидкість анодної або катодної реакції корозійного процесу
2. Створення корозійного середовища за рахунок утворення агресивних по відношенню до металу продуктів метаболізму.
3. Встановлення умов зростання та розмноження, за яких створюються концентраційні гальвано-пари або пари диференційованої аерації.

4. Сульфідне розтріскування сталей у середовищах, що містять H_2S як агент, що сприяє наводженню, як окремий випадок окрихчення навантажених металевих конструкцій.

Корозія металу включає взаємодію між металевими матеріалами та навколишніми факторами навколишнього середовища та мікробами, а також супроводжується рядом хімічних реакцій та утворенням продуктів корозії. У процесі корозії ґрунту метали розчиняються та втрачають електрони, які захоплюються відповідними акцепторами електронів, такими як SO_4^{2-} , NO_3^- , O_2 та оточуючими мікроорганізмами. Послідовне збільшення концентрації катіонів у місцевому ґрунтовому середовищі може змінити іонний склад ґрунту та його фізико-хімічні властивості, такі як рН та електропровідність, і мати детермінований вплив на мікробне середовище. Враховуючи великий масштаб і різноманітність підземних металів і тривалий час їх використання, вплив корозії металу може суттєво змінити хімічний склад ґрунту та мікробні середовища. Недооцінка цих змін може призвести до неправильної інтерпретації механізмів корозії та помилкового прогнозування корозійної поведінки інженерних конструкцій у ґрунті[16].

1.3 Аналіз біоактивності типів ґрунтів Полтавської області в межах прокладання нафтопроводів

Ґрунт, як біокорозійне середовище, характеризується різноманітними взаємозв'язаними та динамічними параметрами. Будь-який параметр при різному поєднанні може впливати не тільки з різною інтенсивністю, але й може змінювати свій напрямок впливу, тобто в одному випадку може прискорювати, а в іншому – гальмувати корозійний процес [17].

Ґрунти являють собою капілярно-пористі, часто колоїдні системи, пори яких заповнені повітрям і вологою, причому вода з частками ґрунту може бути зв'язана фізико-механічно (в порах) або у вигляді поверхневих плівок (на стінках пор), фізико-хімічно (в колоїдних утвореннях і адсорбованих плівках) і хімічно (у вигляді гідратованих хімічних сполук). Ґрунтові умови

в яких експлуатуються підземні споруди, досить неоднакові. Ґрунтова корозія залежить від багатьох факторів, до яких належать: хіміко-мінералогічний склад, показник рН, вологість, вміст газів, структура, електропровідність та бактеріальний склад.

Основний вплив на ґрунти як корозійне середовище по відношенню до газопроводів має їх вологість. В абсолютно сухих ґрунтах корозія не спостерігається через відсутність електроліту, який потрібен для створення корозійних елементів. При незначному зволоженні, коли в ґрунтах існує тільки міцно зв'язана вода, корозійні процеси вже починають проявлятися, хоча швидкість корозії буде незначною. Подальше зростання вологості ґрунту викликає збільшення швидкості корозії. Гранична вологість, яка забезпечує зростання корозії до максимальної, для зв'язних ґрунтів складає 10–12%, для пісків вона є дещо нижчою. При подальшому зростанні вологості максимальна швидкість корозії залишається практично не змінною до деякої межі вологості (20- 25%). Потім, при повному насиченні пор ґрунту водою або вологості, яка є близькою до повної вологоємності, утворюється суцільний шар водного розчину, який ускладнює проникнення повітря до поверхні газопроводу, і швидкість корозії різко знижується. Для корозії також важливим фактором є мінералізація ґрунтових вод або порової вологи (ступінь засолення).

Корозійна агресивність ґрунтів залежить від хімічного складу підземних вод і особливо від концентрації розчинених у них іонів Cl^- та SO_4^{2-} понад 300 мг/дм^3 свідчить про достатньо значну корозійну активність середовища. Насиченість ґрунтів газами теж є важливим для корозійної агресивності ґрунтів. Так, наприклад, з неоднаковим ступенем насичення ґрунтів газами на різній глибині пов'язано накопичення глибоких раковин на нижній поверхні труб у порівнянні з хорошим станом їх верхніх частин. Вільне надходження повітря до корозійних елементів, спричиняє активізацію корозійних процесів, у зв'язку з цим повітропроникні ґрунти в більшості випадків є корозійно-небезпечними. З найбільш поширених форм газів, які

існують в ґрунтах, найбільше значення має вільний кисень, вміст якого залежить від структурно-текстурних особливостей ґрунтів та їх вологості.

Наведем більш детальний опис способу, яким кожен із зазначених вище факторів впливає на корозію ґрунту.

Аерація визначається як кількість повітря, захопленого ґрунтом. Аерація є важливим фактором корозії, оскільки вона є фактором утримання води та швидкості випаровування. Добре аерований ґрунт є більш сприятливим з точки зору низької корозійної активності, оскільки це, як правило, призводить до нижчого утримання води та більш високого рівня випаровування. Розмір частинок і градація в ґрунті відіграють важливу роль у визначенні рівня аерації. Піщані ґрунти, як правило, бажані, оскільки відносно великі частинки забезпечують кращу аерацію та сприяють швидшому випаровуванню після введення води в ґрунт. Швидкий спосіб класифікувати ґрунти з точки зору їхньої аерації — дослідити їх колір. Червонуваті, коричневі або жовті ґрунти вказують на хорошу аерацію, тоді як сірі ґрунти вказують на погану аерацію.

pH (кислотність) – ґрунти можуть мати широкий діапазон кислотності, коливається від 2,5 до 10. Оскільки рівень pH 5 або нижче може призвести до надзвичайної швидкості корозії та передчасного утворення ямок на металевих предметах, нейтральний pH приблизно 7 є найбільш бажаним, щоб мінімізувати цей потенціал пошкодження.

На внутрішній рівень pH ґрунту також можуть впливати опади. Особливо сприяють розвитку СВБ лужні ґрунти. Ця обставина суттєва і для ґрунтів у зоні дії катодного захисту магістральних трубопроводів, де зазначається залужування. Не випадково бактерії, що сульфатвідновлюють, поряд з нітратредукторами та активними амоніфікаторами відносяться до найбільш стійким до впливу лугів бактеріям, що виживають у середовищах з pH не менше 10

Найвищої швидкості росту культура *Desulfovibrio vulgaris* досягає при Eh 150 мВ і pH 6,95 в умовах мінімального сульфідотворення. Рівень ОВП,

нижче якого починається сульфідотворення, що значно варіює. Так, основні потенціали сульфідотворення, зазначені для ґрунтів, лежать у інтервалах від +300 до + 250 мВ та нижче + 100 мВ, деякі автори наводять величину -75 мВ - 150 мВ. При цьому передбачається, що сульфіди утворюються в мікронах з нижчими значеннями Eh, і проникають в більш окислі зони.

Зі збільшенням вмісту вуглекислого газу в повітрі підвищується вміст вуглекислоти в розчині ґрунтової води, що призводить до розчинення карбонату кальцію та утворення бікарбонату кальцію, що знижує кислотність. У ґрунтах, позбавлених CaCO_3 рН може бути більше 7. Мінімальна агресивність ґрунтів стосовно сталі спостерігається при рН = 10—14. Зі зниженням рН ґрунту нижче 6, особливо при значній загальній кислотності ґрунту (гумусові та болотисті ґрунти), її корозійна активність зростатиме, оскільки при цих умовах з помітною швидкістю може відбуватися процес водневої деполяризації.

Донедавна величина r служила основним критерієм корозійної активності ґрунту. Однак деякі ґрунти, близькі за корозійною активністю (солончаковий і піщаний ґрунт у Середній Азії зі швидкостями корозії 0,085 і 0,066 г/(м²-ч)), за значеннями r , рівними 0,5 і понад 100 Ом-м відповідно, повинні бути віднесені один до ґрунтів з дуже високою корозійною активністю, другий - до ґрунтів з низькою активністю.

Зміст іонів Fe^{2+} у ґрунті

В осадових породах, ґрунтах та водоймах формування відновлених сполук заліза та марганцю - дуже поширене явище та головний механізм мобілізації його геохімічно рухливих форм. Геохімічна доля сполук заліза в ґрунтах у значній ступеня залежить від умов зволоження, рН, аерованості ґрунту, умов розкладання органічної речовини, головним чином ґрунтовим фульвокислот та діяльності мікроорганізмів.

Вміст вологи та питомий опір – вміст вологи є більш важливим фактором корозійної активності ґрунту, ніж будь-яка інша змінна. Оскільки

вода є одним із трьох компонентів, необхідних для електрохімічної корозії, інші – кисень і метал, корозії не буде, якщо ґрунт повністю сухий. Експериментальні дані свідчать про те, що підвищений вміст вологи зменшує питомий опір ґрунтів, у свою чергу збільшуючи їх корозійний потенціал. Зауважте, що коли досягнуто точки насичення ґрунту, додаткова волога практично не впливає на питомий опір.

Область активності сульфатредукції та панування відновлювальних процесів присвячена зонам постійного перезволоження. Рівень сульфідогенезу досягається при повному затопленні ґрунту, а при 50% він знижується в результаті переважання аеробних процесів. При цьому вже через 48 годин після початку затоплення починається формування глеєвих та сульфідних горизонтів, мобілізуються окислені форми заліза та марганцю. Напрямок ґрунтоутворення значною мірою визначається з'являються в ґрунтовому розчині сірководнем і содою. При достатній кількості органічної речовини в умовах затоплення ґрунтів сода не накопичуватиметься лише в гіпсоносних відкладеннях і у разі підвищеної активності тіонових бактерій, що окислюють Na_2S

1. Фаза окисного розкладання органічної речовини, що проводиться аеробною та анаеробною мікрофлорою. Тривалість цієї фази визначається вмістом у ґрунті іонів Fe^{3+} . Наприкінці цієї фази зникає O_2 і за його відсутності відбувається перехід $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$, знижується Eh, підвищується рН середовища.

2. Фаза починається після зникнення Fe^{3+} . Стан перезволоження призводить до появи рис болотного типу у ґрунтів, яким це зазвичай не властиво - каштанових та чорноземних.

По нижній утворювальній трубопроводу часто зустрічається перезволожені ділянки, т.к. траншея трубопроводу є дренажем. За відповідних умов мезорельєфу під трубопроводом може сформуватись водотік.

Кількість сульфатів

СВБ поширені в природних ареалах зі значно варіюючим рівнем вмісту SO_4^{2-} - від 0,15 до 15%. СВБ здатні виживати в безсульфатних середовищах при зростанні на органічних сполуках, використовуються у фосфорокластичних реакціях типу Каніццарро. Замість сульфатів більшість СВБ здатні використовувати менш окислені сполуки сірки, зокрема тіосульфат та елементарну сірку. Крім того, як акцептори електронів у літературі згадують дитіонат, тритіонат, тетратіонат.

Органічна речовина

Наразі накопичена значна інформація про фізіологію сульфатвідновлювальних бактерій, які за своїми особливостями можуть бути розділені на 2 групи. Група А (лактат-утилізуючі) включає види, що окислюють органічні субстрати до ацетату та CO_2 . Група Б (ацетат-утилізуючі) поєднує види, що повністю окислюють органічні речовини до CO_2 . З екологічної точки зору найважливішим субстратом сульфатредукції слід вважати молекулярний водень, який використовується як донор електронів поряд з органічними сполуками.

Біогенна сульфатредукція - процес біохімічного відновлення окислених сполук сірки, зокрема сульфатів, до сірководню та інших відновлених сполук. Головну роль у накопиченні відновлених сполук сірки в природі відіграють бактерії, що сульфатвідновлюють, в ході специфічного анаеробного дихання - т.з. дисиміляційної сульфатредукції, при якій як донори електронів використовуються органічні речовини або молекулярний водень, а акцепторами електронів служать сульфат, ряд окислених сполук сірки (SO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, S_0), які відновлюються до сульфїду, а також нітрат і деякі інші сполуки.



$$*G_{10} = - 152,4 \text{ кДж.моль}^{-1}$$

H_2S , що виділяється в результаті реакції, проникає через будь-яке ізоляційне покриття та реагує з металом трубопроводу, в результаті цієї

реакції виділяється атомарний водень, який накопичується в структура металу трубопроводу.

Температура

У природі СВБ зустрічаються при температурах від 0 до 97 ° С. Значимість температурного фактора може змінюватись в умовах лімітації іншими важливими факторами. Вчені показали, що оптимальні для сульфатредукції в пробах температури лежать в межах 30-37 ° С незалежно від сезону. Кількісний і якісний склад популяції СВБ також мало змінюється за сезонами. В цілому активність процесу влітку в 1,5 рази вище, ніж взимку, лише при різких змінах параметрів середовища (аномально високе – до 15 мг/100 г сульфатів) стають значущими інші фактори.

Діапазон температур, наприклад діючого газопроводу діаметром 1020 мм може бути від +20°C до +60°C. Причому в зимову пору року температура навколо труби, у шарі близько 500 мм, практично не змінюється. Це створює постійний температурний режим та оптимальні умови для сульфатредукції.

У Полтавській області лише торф'яні ґрунти належать до високорозвинених, корозійну активність інших ґрунтів за різними показниками можна оцінювати неоднозначно. Враховуючи те що діяльність оцінюють з максимальним значенням показників, то на Полтавщині є всі умови для розвитку протікання корозійних процесів на ділянках нафтопроводу оскільки загалом нафта проводів в Полтавській області експлуатуються в умовах високої корозійної активності ґрунтів[18].

1.3.1. Аналіз досліджуваних ґрунтів

Торф



Рис.1.10. Зразок ґрунту №1 Торф

Торф утворюється в процесі природного відмирання та неповного розпаду болотних рослин в умовах надмірного зволоження та утрудненого доступу повітря. Інтенсивність накопичення надмірної вологи та розвиток торфоосвітнього процесу залежать від кліматичних, геологічних, гідрогеологічних та геоморфологічних умов. У помірних, північних та субарктичних регіонах, де негативні температури протягом тривалого періоду взимку зменшують швидкість розкладання, торф утворюється з мохів, трав, чагарників та невеликих дерев. У вологих тропіках він утворюється з дерев тропічних лісів (листя, гілки, стовбури та коріння) за майже постійно високих температур.

На вигляд торф представляє відносно однорідну за складом і забарвленням масу чорного або темно-коричневого кольору різних відтінків. При малому ступені розкладання торф на вигляд є волокнистою масою

світло-жовтого забарвлення, з тканинами рослин, що добре збереглися. Торф високого ступеня розкладання є шаруватою або землістою масою темно-коричневого і чорного забарвлення. Структура зазвичай волокниста або пластична (торф, що сильно розклався), текстура – однорідна, іноді шарувата. Колір жовтий чи бурий до чорного.

Рослинні залишки та гумус містять органічні та мінеральні частини (не більше 50% мінеральних компонентів на суху речовину). Природний стан містить 86-95% води, вологість повітряно-сухого торфу 20-30%. Зольність торфу 2,5-10,0%. Торф, що слабо розклався, в сухому стані має невелику щільність (до 0,3 г/см³), низький коефіцієнт теплопровідності та високу газопоглинальну здатність. Теплота згоряння 10-25 МДж/кг (збільшується зі збільшенням ступеня розкладання торфу). Коефіцієнт фільтрації торфу з непорушеною структурою 0,1 10⁻⁵–4,3 10⁻⁵ м/с. При осушенні коефіцієнт фільтрації зменшується в декілька разів. Вологоємність торфу залежно від природного складу та ступеня розкладання коливається від 6,4 до 30 кг/кг.

Чорнозем



Рис. 1.11.. Зразок № 2 Чорнозем(Д)



Рис. 1.12.. Зразок № 3 Чернозем

Утворюються в помірному кліматичному поясі, сектор – помірно-континентальний, характерне чергування зволоження та висушення, а також панування позитивних температур. Рельєф хвилясто-рівнинний (періодично порізаний западинами, балками, ярами, річковими терасами). Рослинність багаторічна трав'яниста лугово-стєпова і стєпова підзона, щорічно залишає в ґрунті значну кількість рослинних решток. У відповідних гідротермічних умовах відбувається гуміфікація, що накопичуються у верхніх шарах ґрунту. Разом із гумусом у ґрунті у вигляді складних органо-мінеральних сполук закріплюються такі елементи живлення рослин, як азот, фосфор, сірка, залізо тощо.

На вигляд має насичений чорний колір може бути злегка бурим, якщо в його складі є окис заліза. Колір - це головна відмінність чернозему від звичайних ґрунтів. Звичайні у великій кількості містять пісок або глину, а також фрагменти рослинності та каміння. Тому колір фальсифікату світлий. Чернозем має бути має грудкувату зернисту структуру та жирний маслянистий блиск. Вологий чернозем стає липким, подібним до глини, коли

висихає - твердіє і розтріскується. Чорнозем, на відміну торфу, добре вбирає вологу.

Головна особливість чорноземів – великий вміст у них гумусу – до 10–15 %, що зумовлює їхню високу родючість. Чорноземи характеризуються потужним гумусовим шаром – від 30 до 150 см. Формуючись в умовах більш м'якого та вологого клімату, вони майже не промерзають, швидко розморожуються, отримують велику кількість вологи. Багаті карбонатами кальцію, і що характеризуються значним накопиченням гумусу. Серед типових чорноземів виділяються добре розвинений темно-сірий або чорний гумусовий горизонт із зернистою структурою та палево-бурий ілювіально-карбонатний горизонт із комковато-горіхуватою структурою та світлими карбонатними новоутвореннями. Потужність гумусового горизонту не менше 30 см може перевищувати 120 см. Зміст гумусу - до 9% і більше. Середовище ґрунтів (рН) нейтральне. Мають сприятливі для землеробства хімічні та фізичні властивості.

Супісок



Рис.1.13.. Зразок №4 Супісок

Утворення суглинку відбувається внаслідок дроблення та осідання гірських порід з високим вмістом кварцу. Природний матеріал поширений більше ніж чиста глина. Найчастіше утворення відбувається біля підніжжя пагорбів, у заплавах рік і струмків.

На вигляд вона більше нагадує пісок, легко розсипається. У намоклому стані супісь, на відміну від глини, не тримає форму. Характерною властивістю є менша, ніж у суглинків, пластичність.

Пухка піщано-глиниста осадова гірська порода четвертинного віку, що складається на 70-90% з алеврито-піщаного матеріалу та на 10-30% з частинок розміром менше 0,01 мм (1-10% 0,005 мм). Розрізняють грубо-, дрібнопіщані та пилюваті супіски залежно від вмісту піщаних зерен відповідних розмірностей та пилюватих частинок. Піщані та пилюваті супіски містять у значних кількостях кварц, у більш глинистих супісках присутні глинисті мінерали (каолінит, монтморилоніт та ін.). Супісок є найменш пластичним різновидом серед усіх глинистих ґрунтів, оскільки в її складі присутня більша частина піску і менша кількість глинистих фрагментів.

Параметри її пластичності становлять 1-7. При цьому пористість досягає 0,5-0,7, що відбивається на здатності утримувати меншу кількість вологи порівняно з іншими глинистими ґрунтами. У середньому, щільність супіску у природному заляганні становить 1600-1750 кілограмів на 1 м³. Міцні показники глинистих ґрунтів, включаючи і супіски, в першу чергу, обумовлені зчіпкою між їх фрагментами і щільністю ґрунту. Сили зчеплення збільшуються у міру підвищення об'єму глинистого компонента. Але в міру накопичення вологи ці зв'язки зменшуються. Як наслідок, міцність ґрунтів змінюється. Вологість впливає на консистенцію ґрунту. Вона вказує на рівень її стійкості у природному стані під впливом навантаження.

Супіски діляться на кілька різновидів – тверді, пластичні та плинні. У сухому вигляді речовина є якісною основою. Його навіть відносять до умовно непухиристої категорії.

Корозійні середовища характеризуються такими ознаками ґрунту, як вологість, температура, наявність у ґрунті мікроорганізмів. Для трубопроводів розташованих в ґрунті враховують пористість та характеристики ґрунту. Також велике значення має вологість, рівень рН і вплив біологічно активних мікроорганізмів. Фактори, які впливають на розчинність ґранту можемо розглянути нижче. При корозійності структура ґрунту є також важливою. Неоднорідність пор може призводити до виникнення гальванопор які посилюють ґрунтову корозію, тобто роблять руйнування нерівномірним.

Завдяки пористості ґрунт може тривалий час зберігати аерацію. Повітря проникність залежить від складу ґрунту щільності та вологості. Більш агресивний ґрунти ті, що добре пропускають повітря, а саме піщані ґрунти. У них картонний процес протікає з полегшенням але бувають випадки коли підземну трубопровід великої протяжності проходить через різного виду ґрунти.

Обґрунтуємо, що ґрунти з високим вмістом вологи, високою електропровідністю, високою кислотністю та високим вмістом розчинених

солей будуть найбільш корозійними. Вплив аерації на ґрунти дещо відрізняється від впливу аерації у воді, тому що умови поганої аерації у воді можуть призвести до прискореної атаки сульфатвідновлювальних анаеробних бактерій.

1.4 Обґрунтування теми магістерської роботи та постановка завдань дослідження

На основі проведеного аналізу відомих досліджень з даного напрямку, можна дійти *висновків*:

1. Біокорозійні процеси є головним фактором утворення піттингів та розтріскувань на поверхні нафтопроводів, внаслідок виникають аварії на трубопроводах, що призводить до негативних наслідків.

2. Тривалий вплив корозії металів у ґрунті може суттєво змінити хімічний склад ґрунту та мікробні середовища. Найбільш сприятливим середовищем для життєдіяльності корозійних мікроорганізмів є рН понад 7 і значним вмістом органічних речовин.

3. Корозійні середовища характеризується такими ознаками ґрунту, як вологість, температура, наявність у ґрунті мікроорганізмів, пористість, вологість, рівень рН і вплив біологічно активних мікроорганізмів. Протяжність нафтопроводів проходить через різного виду ґрунти.

Були сформульовані такі *завдання дослідження*:

1. Проаналізувати небезпеку біокорозійних процесів

2. Проаналізувати бактеріологічний склад ґрунтів.

3. Оцінити біологічну активність ґрунтів Полтавської області в межах прокладання нафтопроводу.

4. Визначення рН та аналіз ґрунтів на межі зміни типів ґрунтів.

5. Визначення і аналіз рН ґрунтів полтавської області, що розташовані на межі нафтопроводів.

6. Побудова карт корозійної активності на межі прокладання нафтопроводу.

Наливали на бокову стінку воронки, для того щоб не порвати фільтр. Якщо рідина вийшла мутною то, фільтрування повторювали.

Визначення рН водної витяжки. Виконували шляхом порівняння забарвлення універсального індикатора з еталоном. Смужку універсального індикатора занурили на 2 секунди у водну витяжку, після чого, на світлі порівнювали колір смужки з еталоною шкалою, та визначили рН витяжки.

рН-метр «рН-150МИ».

Для отримання результатів вимірювань рН з нормованим значенням похибки проводили градуювання приладу.

Після включення приладу автоматично встановлюється режим «ИЗМЕРЕНИЕ». В поле режимів роботи на дисплеї висвічується знак «ИЗМЕРЕНИЕ». Кнопкою «ВИБОР» встановлювали режим вимірювань «рН». При цьому в правій частині дисплея висвічується символ «рН».

При вимірюванні рН слід пам'ятати, що характеристики електродної системи залежать від температури аналізованої середовища. Тому для урахування цієї залежності (автоматичної термокомпенсації) приладу необхідна інформація про температуру розчину. Найкращим варіантом є автоматичне вимірювання температури за допомогою термодатчика (в тому числі вбудованого в електрод). В обґрунтованих випадках (проведення мікрозмін, несправність термодатчика і т.д. п.) значення температура може вводитися самостійно. В останньому випадку температуру розчину визначають за допомогою термометра і вводять у прилад перед початком вимірювань згідно.

Промивши електроди і термодатчик дистильованою водою, висушили їх фільтрувальної папером і занурили в аналізований розчин. При використанні термодатчика глибина його поглинання в аналізований розчин повинна бути не менше 30 мм. Після встановлення стабільних показників було зчитано результат виміру дисплеєм. Зазвичай час встановлення показань не перевищує 3 хвилини з моменту завантаження датчиків в аналізоване середовище. Однак при вимірюванні рН сильноокислих і

сильнолужних розчинів, а також при температурах, близьких до 0 °С, час встановлення показань може досягати 10 хв.

2.2. Визначення SO_4^{2-} - іону

Приготування водної витяжки: в колбу було поміщено 10 г ґрунту, долито 50 мл дистильованої води, 3 хвилини збовтували, фільтрували через складчастий фільтр. В пробах отриманої водної витяжки визначали SO_4^{2-} .

Відібравши у колбу на 25 мл 10 мл водної витяжки. Додали до неї 1 мл 10% р-ну BaCl_2 (приблизно 10 крапель) и кип'ятили рідину упродовж 1 хв. За кількістю білого осаду BaSO_4 відмічали приблизний вміст SO_4^{2-} за таблицю 2.1.

Таблиця 2.1.

Визначення вмісту сульфатів

-	немає
+	мало
++	середнє
+++	багато
++++	дуже багато

2.3. Окисно-відновний потенціал

Окисно-відновним потенціалом ґрунту називають різницю потенціалів, що виникає між ґрунтовим розчином і електродом із інертного металу, поміщеного в ґрунт. ОВП у різних типів ґрунтів і різних генетичних горизонтах одного ґрунту коливається в межах 100–750 мВ. Конкретний прояв окисновідновних процесів у ґрунті залежить від його генетичних особливостей та стану водно-повітряного й температурного режимів. Тому різні ґрунти мають свої особливості у розвитку окисно-відновних процесів та сезонної динаміки їх прояву. У чорноземах нормального зволоження величини ОВП змінюються в межах 400–600 мВ. Найбільш низькими потенціалами характеризуються болотні ґрунти, що перебувають під тривалим затопленням.

У процесі внутрішньогрунтового обміну речовин і енергії окиснюються різноманітні органічні речовини до CO_2 і H_2O , NO_3^- , SO_4^{2-} , змінюються ступені окиснення Феруму ($\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}$), Мангану ($\text{Mn}^{2+} \leftrightarrow \text{Mn}^{4+}$), Купруму ($\text{Cu}^+ \leftrightarrow \text{Cu}^{2+}$), Кобальту ($\text{Co}^{2+} \leftrightarrow \text{Co}^{3+}$), Нітрогену ($\text{NO}_3^- \leftrightarrow \text{NO}_2^-$), Сульфурі ($\text{SO}_4^{2-} \leftrightarrow \text{H}_2\text{S}$), а також відбуваються процеси окиснення і відновлення Оксигену і Гідрогену: ($\text{O} \leftrightarrow \text{O}^{2-}$) та ($\text{H} \leftrightarrow \text{H}^+$). Ця здатність компонентів ґрунту вступати в окисно-відновні реакції (ОВ-реакції) характеризується за допомогою окисно-відновного потенціалу (ОВП або E_h).

ОВП, E_h , для окремої окисно-відновної реакції, визначається за формулою:

$$E_h = E_o + 59 \lg[\text{Ox}]/[\text{Red}],$$

де E_o – нормальний потенціал окисно-відновної системи (ОВ-системи), який виникає на вимірювальному електроді у суміші однонормальних розчинів окисника та відновника; $[\text{Ox}]$ та $[\text{Red}]$ – концентрації окисника та відновника.

Оскільки, у ґрунті окисно-відновні процеси відбуваються одночасно за участю декількох ОВ-систем (органічних і неорганічних), вирахування E_h за формулою є достатньо складним, тому його безпосередньо вимірюють електрометричним методом (як і рН) за допомогою індикаторного платинового та хлорсрібного електроду порівняння.

Визначення ОВП рН-метром.

Для виконання вимірювань E_h повинна використовуватись електродна система, що складається з вимірювального редокс-електроду та електрода порівняння. Так само може використовуватись комбінований редокс-електрод. Зазначені електроди в комплект постачання не входять. Градування комплекту приладу для вимірювання E_h не потрібно. Перевірка електродів здійснюється відповідно до рекомендацій, викладених у експлуатаційній документації на відповідні електроди.

Після увімкнення приладу автоматично встановлюється режим «ИЗМЕРЕНИЕ». У полі режимів роботи на дисплеї відображається знак

«ИЗМЕРЕНИЕ». При необхідності кнопкою «ВИБОР» слід встановити режим вимірів "mV". При цьому у правій частині дисплея висвічується символ mV.

Промивши електроди дистильованою водою, осушили їх фільтрувальним папером і занурили в аналізований розчин. Після встановлення стабільних показань записали результати виміру з дисплея.

2.4. Визначення біокорозійної активності

2.4.1. Метод оцінки біокорозійної активності ґрунтів за комплексом мікробіологічних і фізико-хімічних показників

Суть методу полягає у визначенні кількості бактерій циклу сірки, загальної концентрації сірки і заліза в пробах ґрунту, прилеглого до нафтопроводів та співвідношенні цих показників з питомим електричним опором ґрунту.

Відбір проб ґрунту поблизу трубопроводу здійснюється в момент шурфування за схемою 2.2.

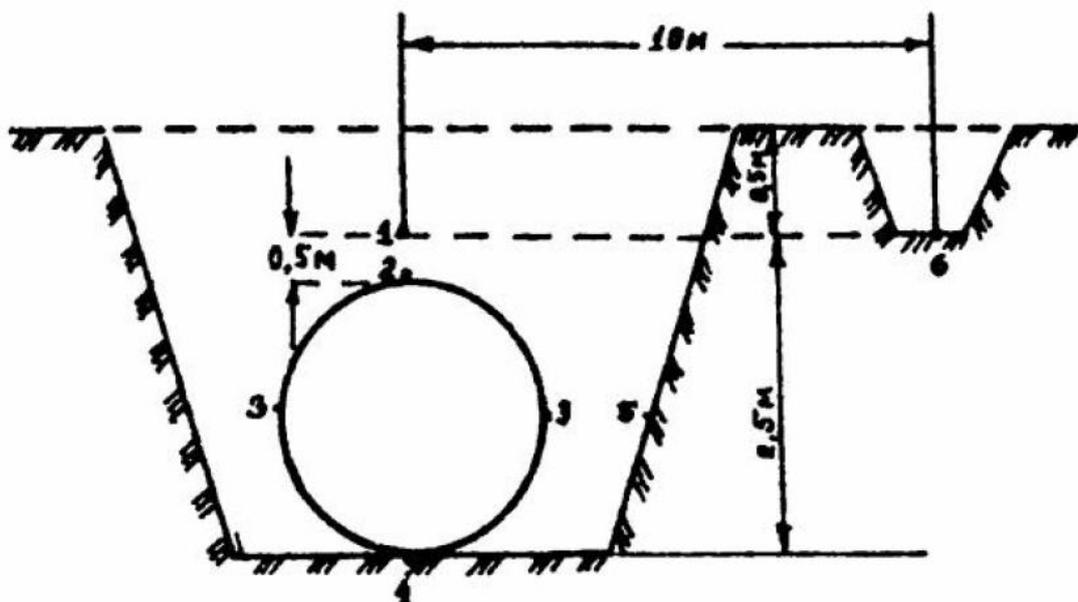


Рис 2.2. Схема відбору проб ґрунту під час шурфування трубопроводу

Для мікробіологічних досліджень проби ґрунту в кількості (25±5) г відбирають стерильним шпателем в стерильні паперові пакети. Для

збереження природної вологості паперові пакети поміщують в поліетиленові пакети. Для фізико-хімічних досліджень проби з ґрунтом поміщають у скляні трубки діаметром (15 ± 2) мм, ущільнюють і закривають гумовими пробками.

Проведення мікробіологічних аналізів

Для проведення мікробіологічних аналізів готують готову ґрунтову суспензію, в пропорції: 10 г ґрунту додати до 90 см^3 водопровідної води, яку попередньо простерилізовано. Ґрунтову суспензію струшують протягом 30 хв на апараті для струшування в режимі 100 ± 20 об/хв.

Кількісний вміст бактерій в пробах ґрунту визначають методом десятикратних граничних розведень при висіві ґрунтової суспензії на відповідні живильні середовища.

Кількість сульфатредуючих бактерій визначають на живильному середовищі Постгейта «В».

Кількість автотрофних ацитофобних тіонових бактерій визначають у живильному середовищі Бейєринґа.

Проведення фізико-хімічних аналізів

Визначення кількісного вмісту заліза в ґрунті здійснюють із застосуванням саліцилової кислоти.

Визначення кількісного вмісту сірки в ґрунті здійснюють за методом Остроумова.

Визначення питомого електричного опору ґрунту здійснюють згідно додатком А [15].

Обробка результатів

Для оцінки біокорозійної активності ґрунтів одержані дані з кількісного вмісту в ґрунті сульфатредуючих бактерій, тіонових бактерій, загального заліза, загальної сірки та питомого електроопору ґрунту вводяться в формулу, що дає змогу оцінити біокорозійну активність ґрунтів як логарифм відношення добутку значень кількості в ґрунті сульфатредуючих

бактерій, тіонових бактерій, загального заліза і загальної сірки до значення питомого електричного опору ґрунту.

$$K_a = \log \left[\frac{T_{срб} \cdot T_{тб} \cdot Fe_{заг} \cdot S_{заг}}{\rho} \right]$$

де K_a – критерій біокорозійної активності ґрунту, сумарний ефект дії різних чинників корозії;

$T_{срб}$ – кількість сульфатредуючих бактерій в 1 г ґрунту;

$T_{тб}$ – кількість тіонових бактерій в 1 г ґрунту;

$Fe_{заг}$ – кількісний вміст загального заліза в ґрунті, відсотки;

$S_{заг}$ – кількісний вміст загальної сірки в ґрунті, відсотки;

ρ – значення питомого електричного опору ґрунту, Ом·м.

Згідно зі значенням K_a ґрунти поділяються на:

Таблиця 2.1.

Класифікація біокорозійної активності ґрунтів за значенням K_a	
Потенційно агресивні	$K_a < 1,5$
Мало агресивні	$1,5 < K_a < 4,0$
Помітно агресивні	$4,0 < K_a < 7,0$
Агресивні	$7,0 < K_a < 10,0$
Дуже агресивні	$10,0 < K_a$

У разі визначення ґрунтів як помітно агресивних необхідно проводити регулярний контроль за станом поверхні нафтопроводу.

Якщо будівництво чи експлуатація нафтопроводів відбувається а агресивних чи дуже агресивних грантах, проектувальники та служби експлуатації повинні забезпечити:

А) регулярний контроль за станом трубопроводу

Б) пасивний захист трубопроводу, використовуючи біостійкі покриття

2.4.2. Експрес-метод оцінки біокорозійної активності ґрунтів

Суть цього методу полягає у тому, що оцінка ступеня біокорозійної активності ґрунтів (K_a) проводиться вимірювання лише питомого електричного опору ґрунту з урахуванням сукупності мікробіологічних та фізико-хімічних показників.

Для визначення K_a методом експрес-оцінки пропонуються емпіричні формули

$$K_a = \lg \times (6,98 \times 10^{12} \exp \times (-0,179 \rho)) / \rho, \text{ при } 0 < \rho < 4,0;$$

$$K_a = \lg \times (\exp \times (-0,59 \rho) \times (2,99 \times 10^{11} - 8,37 \times 10^8 \rho)) / \rho,$$

при $40 < \rho < 80$;

$$K_a = \lg \times (3,1 \times 10^7 \exp(-0,044 \rho) \times (20,2^2 \rho^2 - 4 \rho + 1170)) / \rho,$$

при $80 < \rho < 100$;

$$K_a = \lg \times (10^7 \exp(-0,029 \rho) \times (-8,1 \times 10^{-3} \rho^3 + 69,22 \rho^2 - 11 \rho + 3089)) / \rho,$$

при $\rho > 100$;

де $\exp - e$ – основа натурального логорифма

ρ – Значення питомого електричного опору ґрунту, Ом·м.

На основі одержаних результатів значення K_a ґрунти розподіють на групи згідно таблиці 2.2.

Програмування контролю за станом нафтопроводів проводять залежно від групи ґрунту згідно таблиці 2.1.

Питомий опір ґрунту залежить від характеру ґрунту, а також від пори року. Найбільшу величину він має в холодний період у північних районах при промерзанні ґрунту або в теплий період в південних районах, коли ґрунт найбільш сухий. За таблицею 2.2 визначається приблизне значення питомого опору ґрунту ρ .

Таблиця 2.2.

Приблизні значення питомих електричних опорів різних ґрунтів, Ом * м

Ґрунт	Можливі межі коливань, ρ	При вологості 10-20% до маси ґрунту	Рекомендоване значення для приблизних

			розрахунків
Чорнозем	9 – 53	20	20
Торф	10 – 30	20	20
Супісок	150 – 400	300	300

Продовження таблиці 2.2

Глина	8 – 70	40	40
Суглинок	40 – 150	100	100
Пісок	400 – 700	700	700

Примітки: При малому відсотку вмісту води в ґрунті можливі більші значення опорів.

ВИСНОВКИ

1. Для дослідження було обрано два варіанти визначення рН, щоб визначити більш чіткі дані.
2. Оскільки в основі окислювально-відновні процеси відбуваються одночасно за участю кількох систем ОВ (органічних і неорганічних), то їх розрахунок за формулою досить складний, тому було вирішено вимірювати електрометрично (як і рН).
3. Був обраний експрес-метод визначення біокорозійної активності ґрунтів, оскільки даний метод є більш простим і не потребує додаткових аналізів, а тільки визначення питомого електричного опору ґрунтів.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ БІОКОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ У ГРУНТАХ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

3.1. Розрахунок біокорозійної активності ґрунтів Полтавської області

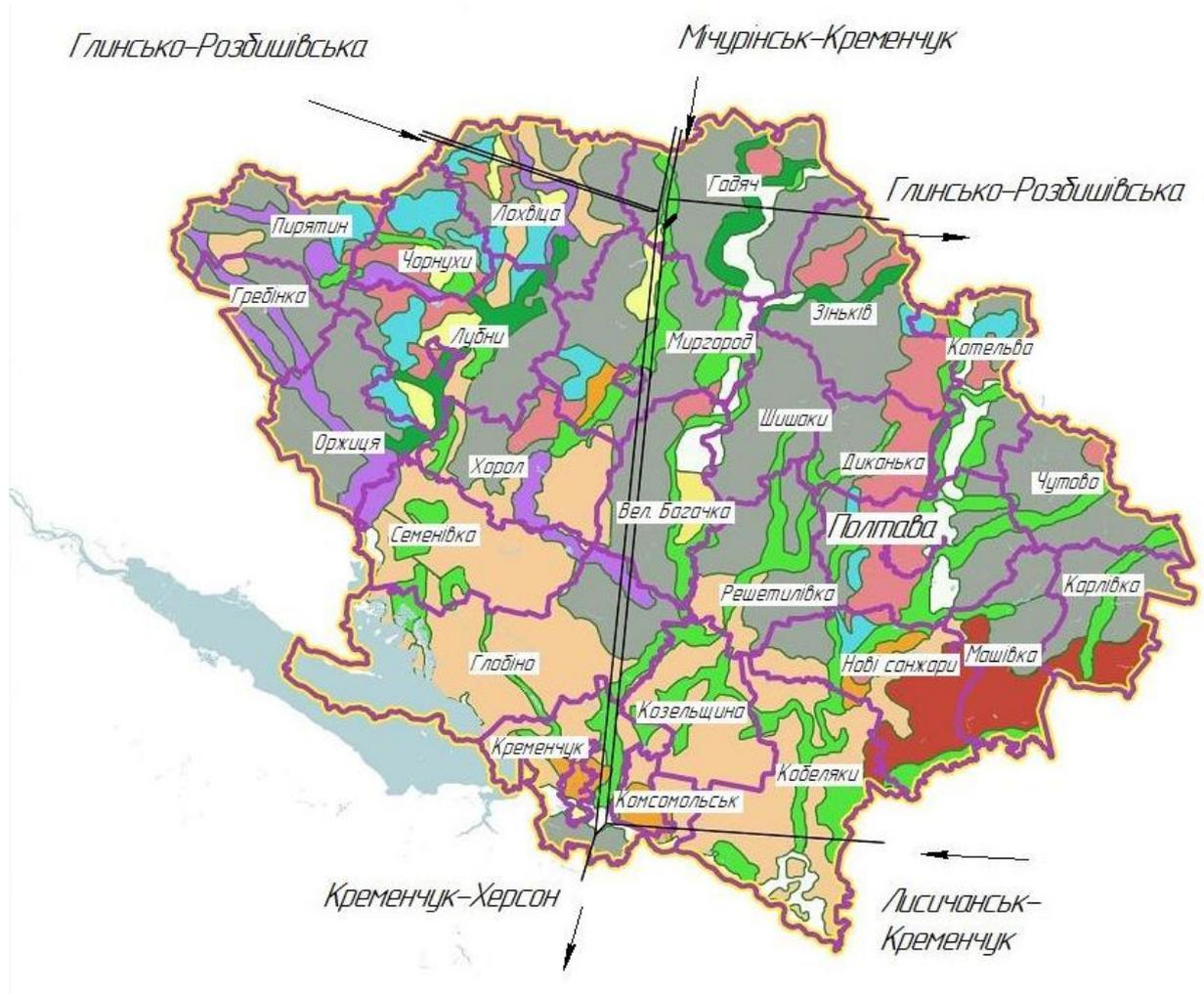


Рис 3.1. Карта ґрунтів Полтавської області з позначеними на ній нафтопроводами

	дерново-слабопідзолисті
	ясно-сірі та сірі лісові
	темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені
	чорноземи деградовані
	чорноземи типові
	чорноземи звичайні
	чорноземи солонцюваті
	лучно-чорноземні та лучні
	лучно-болотні та болотні
	торф'яно-болотні та торфовища низинні
	дернові переважно-оглесні
	супіски

Розрахунки:

Для розрахунку біокорозійної активності ґрунтів Полтавської області K_a був обраний експрес-метод.

За таблицею 2.2 визначали приблизні значення питомих опорів ґрунтів для теплового та холодного періодів.

1) Визначення коефіцієнту агресивності для *теплого періоду*:

$$K_{a_{\text{Дерново-слабопідзолисті}}} = \lg \frac{10^7 \exp(-0,029 \times 630) \times (-8,1 \times 10^{-3} \times 630^3 + 69,22 \times 630^2 - 11 \times 630 + 3089)}{630} = 0,0102$$

$$K_{a_{\text{Ясно-сірі та сірі лісові}}} = \lg \frac{10^7 \exp(-0,029 \times 143) \times (-8,1 \times 10^{-3} \times 143^3 + 69,22 \times 143^2 - 11 \times 143 + 3089)}{143} = 0,079$$

$$K_{a_{\text{Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені}}} = \lg \frac{10^7 \exp(-0,029 \times 155) \times (-8,1 \times 10^{-3} \times 155^3 + 69,22 \times 155^2 - 11 \times 155 + 3089)}{155} = 0,0726$$

$$K_{a_{\text{Чорноземи деградовані}}} = \lg \frac{10^7 \exp(-0,029 \times 135) \times (-8,1 \times 10^{-3} \times 135^3 + 69,22 \times 135^2 - 11 \times 135 + 3089)}{135} = 0,079$$

$$K_{a_{\text{Чорноземи типові}}} = \frac{\log_{10}(6,98 \times 10^{12} e^{-0,179 \times 20})}{20} = 0,5644 \text{ или } 5,644 \times 10^{-1}$$

$$K_{a_{\text{Чорноземи звичайні}}} = \frac{\log_{10}(6,98 \times 10^{12} e^{-0,179 \times 10})}{10} = 1,2066 \text{ или } 12,066 \times 10^{-1}$$

$$Ka_{\text{Чорноземи солоцюваті}} = \frac{\log_{10}(6,98 \times 10^{12} e^{-0,179 \times 33})}{33} = 0.3114 \text{ или } 3,114 * 10^{-1}$$

$$Ka_{\text{Лучночорноземні та лучні}} = \frac{\log_{10}(6,98 \times 10^{12} e^{-0,179 \times 34})}{34} = 0.300022 \text{ или } 3,00022 * 10^{-1}$$

1

$$Ka_{\text{Лучно-болотні та болотні}} = \frac{\log_{10}(6,98 \times 10^{12} e^{-0,179 \times 19})}{19} = 0.598 \text{ или } 5,98 * 10^{-1}$$

$$Ka_{\text{Торфяно-болотні та торфовища низинні}} = \frac{\log_{10}(6,98 \times 10^{12} e^{-0,179 \times 20})}{20} = 0.5644 \text{ или } 5,644 * 10^{-1}$$

$$Ka_{\text{Дернової переважно-оглеєні}} = \frac{\log_{10}(6,98 \times 10^{12} e^{-0,179 \times 19})}{19} = 0.598 \text{ или } 5,98 * 10^{-1}$$

$$Ka_{\text{супіски}} = \lg \frac{10^7 \exp(-0,029 \times 345) \times (-8,1 \times 10^{-3} \times 345^3 + 69,22 \times 345^2 - 11 \times 345 + 3089)}{345} = 0,0276 \text{ или } 0,276 * 10^{-1}$$

2) Визначення коефіцієнту агресивності для *холодного періоду*:

$$Ka_{\text{Дерново-слабопідзолисті}} =$$

$$\lg \frac{10^7 \exp(-0,029 \times 250) \times (-8,1 \times 10^{-3} \times 250^3 + 69,22 \times 250^2 - 11 \times 250 + 3089)}{250} = 0,04189 \text{ или } 0,4189 * 10^{-1}$$

$$Ka_{\text{Ясно-сірі та сірі лісові}} =$$

$$\lg \frac{10^7 \exp(-0,029 \times 120) \times (-8,1 \times 10^{-3} \times 120^3 + 69,22 \times 120^2 - 11 \times 120 + 3089)}{120} = 0,0956 \text{ или } 0,956 * 10^{-1}$$

$$Ka_{\text{Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені}} =$$

$$\lg \frac{10^7 \exp(-0,029 \times 172) \times (-8,1 \times 10^{-3} \times 172^3 + 69,22 \times 172^2 - 11 \times 172 + 3089)}{172} = 0,0647 \text{ или } 0,647 * 10^{-1}$$

$$Ka_{\text{Чорноземи деградованісті}} =$$

$$\lg \frac{10^7 \exp(-0,029 \times 164) \times (-8,1 \times 10^{-3} \times 164^3 + 69,22 \times 164^2 - 11 \times 164 + 3089)}{164} = 0,0682 \text{ или } 0,682 * 10^{-1}$$

$$Ka_{\text{Чорноземи типові}} = \frac{\log_{10}(6,98 \times 10^{12} e^{-0,179 \times 25})}{25} = 0.43601 \text{ или } 4,3601 * 10^{-1}$$

$$Ka_{\text{Чорноземи звичайні}} = \frac{\log_{10}(6,98 \times 10^{12} e^{-0,179 \times 12})}{12} = 0.9925 \text{ или } 9,925 * 10^{-1}$$

$$K_a_{\text{Чорноземи солоцюваті}} = \frac{\lg(e^{(-0,59 \times 42)} \times (2,99 \times 10^{11} - 8,37 \times 10^8 \times 42))}{42} = 0,0157$$

$$K_a_{\text{Лучночорноземні та лучні}} = \frac{\lg(e^{(-0,59 \times 55)} \times (2,99 \times 10^{11} - 8,37 \times 10^8 \times 55))}{55} = 0,0489 \text{ или } 0,489 * 10^{-1}$$

$$K_a_{\text{Лучно-болотні та болотні}} = \frac{\lg_{10}(6,98 \times 10^{12} e^{-0,179 \times 14})}{14} = 0,8396 \text{ или } 8,396 * 10^{-1}$$

$$K_a_{\text{Торф'яно-болотні та торфовища низинні}} = \frac{\lg_{10}(6,98 \times 10^{12} e^{-0,179 \times 12})}{12} = 0,9925 \text{ или } 9,925 * 10^{-1}$$

$$K_a_{\text{Дернової переважно-оглеєні}} = \frac{\lg_{10}(6,98 \times 10^{12} e^{-0,179 \times 16})}{16} = 0,725 \text{ или } 7,25 * 10^{-1}$$

$$K_a_{\text{супіски}} = \lg \frac{10^7 \exp(-0,029 \times 234) \times (-8,1 \times 10^{-3} \times 234^3 + 69,22 \times 234^2 - 11 \times 234 + 3089)}{234} = 0,0453$$

Одержані результати розрахунків були занесені до таблиці 3.2.

На основі одержаних результатів значення K_a ґрунти Полтавської області було розподілено за допомогою ранжування на групи та занесено до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Ранжування результатів значення K_a отриманих типів ґрунтів

Значення K_a , * 10^{-2}	Класифікація за значенням K_a
$K_a < 30$	Потенційно агресивні
30 – 60	Мало агресивні
60 – 90	Помітно агресивні
90 – 120	Агресивні
$120 > K_a$	Дуже агресивні

Таблиця 3.2.

Типи ґрунтів Полтавської області	Межі коливання питомого опору ґрунту, Ом*м	Приблизний питомий опір ґрунту обраний для розрахунків, Ом*м		Ka		Формула для розрахунку коефіцієнта агресивності
		Теплий період року	Холодни й період року	Теплий період року	Холодний період року	
Дерново- слабопідзолисті	200-800	630	250	$1,02 \cdot 10^{-2}$	$4,189 \cdot 10^{-2}$	$K_a = \lg (10^7 \exp(-0,029 \rho) \times (-8,1 \times 10^{-3} \rho^3 + 69,22 \rho^2 - 11 \rho + 3089)) / \rho$
Ясно-сірі та сірі лісові	100-150	143	120	$7,9 \cdot 10^{-2}$	$9,56 \cdot 10^{-2}$	$K_a = \lg (10^7 \exp(-0,029 \rho) \times (-8,1 \times 10^{-3} \rho^3 + 69,22 \rho^2 - 11 \rho + 3089)) / \rho$
Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені	150-200	155	172	$7,26 \cdot 10^{-2}$	$6,47 \cdot 10^{-2}$	$K_a = \lg (10^7 \exp(-0,029 \rho) \times (-8,1 \times 10^{-3} \rho^3 + 69,22 \rho^2 - 11 \rho + 3089)) / \rho$

Продовження таблиці 3.2

Чорноземи деградовані	110-200	135	164	$7,9 \cdot 10^{-2}$	$6,82 \cdot 10^{-2}$	$K_a = \lg (10^7 \exp(-0,029 \rho) \times (-8,1 \times 10^{-3} \rho^3 + 69,22 \rho^2 - 11 \rho + 3089)) / \rho$
Чорноземи типові	20-40	20	25	$56,44 \cdot 10^{-2}$	$4,360 \cdot 10^{-2}$	$K_a = \lg (6,98 \times 10^{12} \exp \times (-0,179 \rho)) / \rho$, при $0 < \rho < 4,0$;
Чорноземи звичайні	10-15	10	12	$120,66 \cdot 10^{-2}$	$99,25 \cdot 10^{-2}$	$K_a = \lg (6,98 \times 10^{12} \exp \times (-0,179 \rho)) / \rho$, при $0 < \rho < 40$;
Чорноземи солонцюваті	30-60	33	42	$31,14 \cdot 10^{-2}$	$1,57 \cdot 10^{-2}$	$K_a = \lg (6,98 \times 10^{12} \exp \times (-0,179 \rho)) / \rho$, при $0 < \rho < 4,0$; $K_a = \lg (\exp \times (-0,59 \rho) \times (2,99 \times 10^{11} - 8,37 \times 10^8 \rho)) / \rho$, при $40 < \rho < 80$;
Лучночорноземні та лучні	25-75	34	55	$30,002 \cdot 10^{-2}$	$4,89 \cdot 10^{-2}$	$K_a = \lg (6,98 \times 10^{12} \exp \times (-0,179 \rho)) / \rho$, при $0 < \rho < 4,0$; $K_a = \lg (\exp \times (-0,59 \rho) \times (2,99 \times 10^{11} - 8,37 \times 10^8 \rho)) / \rho$, при $40 < \rho < 80$;

Продовження таблиці 3.2

Лучно-болотні та болотні	15-20	19	14	$59,8 \cdot 10^{-2}$	$83,96 \cdot 10^{-2}$	$K_a = \lg (6,98 \times 10^{12} \exp \times (-0,179 \rho)) / \rho$, при $0 < \rho < 4,0$;
Торф'яно-болотні та торфовища низинні	10-20	20	12	$56,44 \cdot 10^{-2}$	$99,25 \cdot 10^{-2}$	$K_a = \lg (6,98 \times 10^{12} \exp \times (-0,179 \rho)) / \rho$, при $0 < \rho < 4,0$;
Дернові переважно-оглеєні	15-20	19	16	$59,8 \cdot 10^{-2}$	$72,5 \cdot 10^{-2}$	$K_a = \lg (6,98 \times 10^{12} \exp \times (-0,179 \rho)) / \rho$, при $0 < \rho < 4,0$;
Супіски	150-400	345	234	$2,76 \cdot 10^{-2}$	$4,53 \cdot 10^{-2}$	$K_a = \lg (10^7 \exp(-0,029 \rho) \times (-8,1 \times 10^{-3} \rho^3 + 69,22 \rho^2 - 11 \rho + 3089)) / \rho$

3.2. Експериментальна частина

Експеримент до даної кваліфікаційної роботи передбачає визначення водної витяжки проб ґрунту до замішування та після до моменту витягнення сталевих пластин. Робота полягає у проведенні аналізу рН, ОВП та наявності сульфатів. На основі одержаних експериментальних даних аналізується корозійна активність ґрунтів та проводиться повний факторний експеримент.

Для експерименту були відібрані 4 типи ґрунту, висушувались при кімнатній температурі. Після цього ґрунт був перебраний від зайвих корінців та протертий через сито для одержання однакових фракційних частинок. Після чого були замішані суміші.



Рис 3.2 Замішування сумішей

Склад і умови зберігання утворених сумішей

№	Тип ґрунту	В12	Яйце	Вода, мл	Повітря	
Тепло	1	Торф	-	+	50	+
	2	Чорнозем(А)	+	+	60	-
	3	Чорнозем(Б)	+	+	90	+
	4	Супісок	-	+	80	-
Холод	5	Торф	-	+	50	-
	6	Чорнозем(А)	+	+	60	+
	7	Чорнозем(Б)	+	+	90	-
	8	Супісок	-	+	80	+

Металеві пластини різних розмірів затирались наждачною бумагою після цього протирались вологою ганчіркою, для очищення металевого пилю, потім витирались насухо. Перед експериментом зразки зважувались на аналітичних вагах з точністю до 0,0001 мг. Після зважування пластини були занурені у ґрунти з різними умовами зберігання.



Рис.3.3 Занурення сталевих пластин у ґрунт

Результати проведеного експерименту були занесені до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Результати випробування зразків

Номер зразка	Тип ґрунту	Площа, $S \text{ м}^2$	Вага, г			Втрат а маси зразка $m_1 - m_2$, г
			До випробування, m_1	Після випробування, m_2		
				проміжний	кінцевий	
2	Торф (тепло)	18,75	28,0960	26,4800	26,2200	1,8760
3	Чорнозем Д (холод)	18,46	29,0548	28,5900	28,4700	0,5848
5	Супісок (тепло)	9,8	16,5964	16,5400	16,5200	0,0764
6	Чорнозем Д(тепло)	9,8	11,9200	11,2900	11,1000	0,8200
12	Чорнозем (холод)	18,8	42,6167	41,5300	41,1800	1,4367
13	Торф (холод)	19,6	43,5618	43,4600	43,3900	0,1718

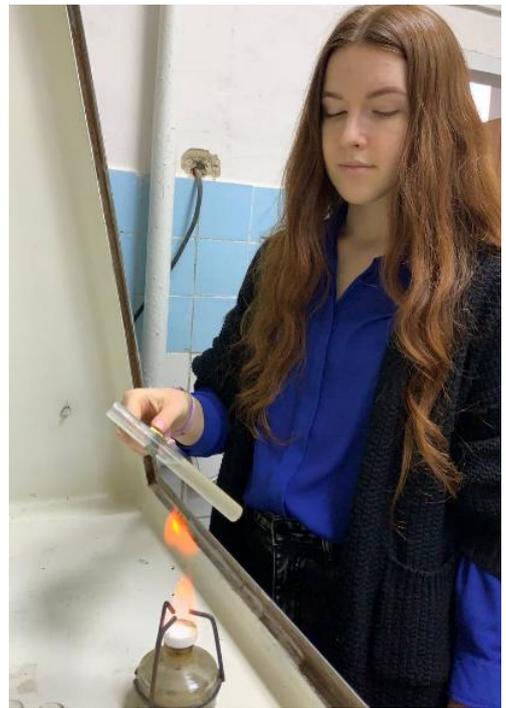


Рис 3.4. Визначення у пробах водної витяжки наявності SO_4^{2-} .

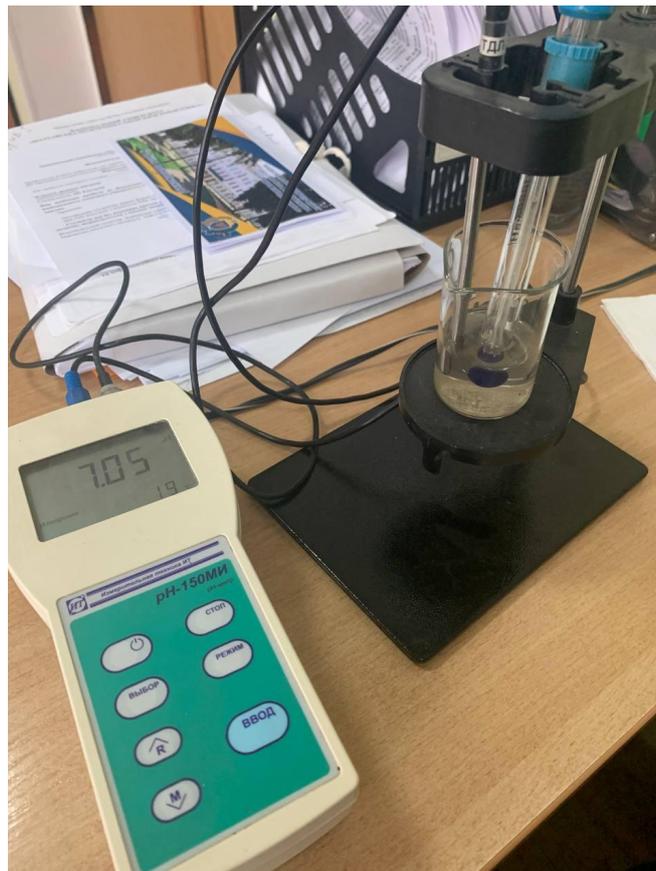


Рис 3.5. Визначення рН ґрунту рН-метром



Рис 3.6. Визначення рН-ґрунтів за допомогою лакмусового індикатору



Рис 3.7 Визначення ОВП досліджуваних ґрунтів

Окисно-відновний потенціал

Дата	Торф (тепло)	Чорнозем (тепло)	Чорнозем Д (тепло)	Супісок (тепло)	Торф (холод)	Чорнозем (холод)	Чорнозем Д(холод)	Супісок (холод)
14.09.2022	190	440	162	198	145	230	650	116
30.09.2022	347	496	594	672	375	590	778	523

Визначення показників рН та наявності сульфатів проводились для всіх сумішей 10 разів з різним проміжком часу, для визначення їх динаміки на протязі залягання сталевих пластин у досліджуваних ґрунтах. Дані отримані в результаті спостережень занесені до *таблиць 3.6 -3.7.*

Таблиця 3.6

Вимірювання сульфатів

Дата	Торф (тепло)	Чорнозем (тепло)	Чорнозем Д (тепло)	Супісок (тепло)	Торф(холод)	Чорнозем (холод)	Чорнозем Д(холод)	Супісок (холод)
04.02.2022	середнє	середнє	середнє	середнє	середнє	середнє	середнє	середнє
18.02.2022	середнє	середнє	середнє	багато	середнє	багато	середнє	середнє
28.04.2022	середнє	середнє	середнє	багато	середнє	багато	середнє	середнє
30.05.2022	середнє	середнє	багато	середнє	багато	середнє	середнє	середнє
10.06.2022	середнє	середнє	середнє	середнє	середнє	середнє	середнє	середнє
18.07.2022	середнє	багато	мало	мало	мало	мало	середнє	середнє
04.08.2022	мало	мало	мало	мало	мало	мало	середнє	мало
26.08.2022	мало	мало	мало	мало	мало	мало	мало	мало
14.09.2022	мало	мало	мало	мало	мало	мало	мало	мало
30.09.2022	помітно	помітно	помітно	помітно	помітно	помітно	помітно	помітно

Таблиця 3.7

Визначення рН досліджуваних ґрунтів

Дата	Торф (тепло)		Чорнозем (тепло)		Чорнозем Д (тепло)		Супісок (тепло)		Торф (холод)		Чорнозем (холод)		Чорнозем Д (холод)		Супісок (холод)	
	Лакмусовий індикатор	рН-метр														
04.02.2022	5	4,90	7	7,06	7	7,05	6	5,53	5	5,48	7	6,91	7	6,70	6	5,60
18.02.2022	4	-	7	-	7	-	7	-	5	-	7	-	7	-	6	-
28.04.2022	5	5,23	6	6,58	7	7,13	6	6,71	5	5,84	6	7,79	7	7,14	6	6,87
30.05.2022	5	-	6	-	7	-	7	-	6	-	7	-	7	-	7	-
10.06.2022	6	-	6	-	7	-	7	-	7	-	6	-	7	-	7	-
18.07.2022	6	-	7	-	7	-	7	-	6	-	7	-	7	-	7	-
04.08.2022	6	-	6	-	7	-	8	-	6	-	7	-	7	-	7,5	-
26.08.2022	6	-	6	-	7	-	8	-	6	-	7	-	7	-	7	-
14.09.2022	6	6,8	7	6,89	7	7,53	7	7,5	6	6,74	7	7,39	7	7,34	7	7,31
30.09.2022	7	7,74	7	7,72	7	7,67	7	7,8	7	7,69	8	7,9	7	7,74	8	7,85



Рис 3.8 Вилучення металевих пластин с ґрунтових сумішей



Рис 3.9 Результат біокорозії на зразках 2 і 3



Рис 3.9 Результат біокорозії на зразках 5 і 6



Рис 3.10 Результат біокорозії на зразках 5 і 6

3.3. Повний факторний експеримент

Для виявлення зв'язків між відносною втратою швидкості корозії, рН та ОВП 2х факторний аналіз. В якості фактора Х1 прийнято ОВП, а фактора Х2 – рН перерізу, v. Вихідною величиною У – і на центральній ділянці Е в %.

Виявивши кількісні залежності між факторами і вихідною величиною можливо використавши математичне моделювання.

В загальному виді математична модель представляється функцією змінних

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Із практики інженерного експерименту відомо, що в більшості випадків задовільною є модель у виді алгебраїчного поліному, ступінь якого визначається в процесі досліджень.

Модель досліджуваного об'єкту відповідає деякій локальній області факторного простору із координатами $((x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0})$. Невідома залежність у околі цієї точки представляється у виді поліному – відрізка ряду Тейлора (рівняння регресії):

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{\substack{u, i=1 \\ u \neq 1}} \beta_{i^u} x_i^u + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_{ii} + \dots$$

В даному дослідженні була випробувана лінійна математична модель (поліном першого порядку):

$$y = b_0 x_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$$

Коефіцієнти регресії визначаються на основі експериментальних даних.

Визначення коефіцієнтів і аналіз моделі включає слідуючі етапи:

Складання плану експерименту; проведення експерименту; обробка дослідних даних; прийняття рішення.

При варіюванні факторій на двох рівнях для реалізації всіх можливих неповторних комбінації рівнів факторів необхідно провести $N = 2^2$ дослідів.

В таблиці 3.8. приведена матриці планування повного факторного експерименту типу 2^2 .

Таблиця 3.8.

Матриця планування факторного експерименту

Номер досліді	Фактори		У (i)
	X1(ОВП)	X2 (рН)	
1	+1	+1	У1
2	-1	+1	У2
3	+1	-1	У3
4	-1	-1	У4

Таблиця 3.9.

Торф

Номер досліді	Фактори		У (i)
	X ₁ (ОВП)	X ₂ (рН)	
1	+375	+6,8	0,000026
2	-347	+6,8	0,000019
3	+190	-4,9	0,00000349
4	-145	-4,9	0,00000252

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2$$

$$i = a_0 + a_1 \text{ОВП} + a_2 \text{рН}$$

$$x_1 = \frac{\text{ОВП} - \frac{\max + \min}{2}}{\frac{\max - \min}{2}} = \frac{\text{ОВП} - \frac{375 + 190}{2}}{\frac{375 - 190}{2}} = \frac{\text{ОВП} - 282,5}{92,5}$$

$$x_2 = \frac{p - \frac{\max + \min}{2}}{\frac{\max - \min}{2}} = \frac{\text{ОВП} - \frac{6,8 + 4,9}{2}}{\frac{-4,9 + 6,8}{2}} = \frac{\text{рН} - 5,85}{0,95}$$

Таблиця 3.10.

Номер досліду	Фактори		У (i)
	X ₁ (ОВП)	X ₂ (рН)	
1	+375	-4,9	0,35*10 ⁻⁵
2	-347	-4,9	0,25*10 ⁻⁵
3	+190	+6,8	2,6*10 ⁻⁵
4	-145	+6,8	1,9*10 ⁻⁵

$$a_0 = \frac{1}{4} * (0,35 + 0,25 + 2,6 + 1,9) * 10^{-5} = 1,27 * 10^{-5}$$

$$a_1 = \frac{1}{4} * (0,35 - 0,25 + 2,6 - 1,9) * 10^{-5} = 0,2 * 10^{-5}$$

$$a_2 = \frac{1}{4} * (-0,35 - 0,25 + 2,6 + 1,9) * 10^{-5} = 0,97 * 10^{-5}$$

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2$$

$$y = 1,27 * 10^{-5} + 0,2 * 10^{-5} x_1 + 0,97 * 10^{-5} x_2 = (1,27 + 0,2 * x_1 + 0,97 * x_2) * 10^{-5}$$

$$i = \left(1,27 + 0,2 * \frac{ОВП - 282,5}{92,5} + 0,97 * \frac{ОВП - 282,5}{92,5} \right) * 10^{-5}$$

$$i = (-5,31 + 0,0021 ОВП + 1,02 рН) * 10^{-5}$$

$$i_1 = (-5,31 + 0,0021 * 375 + 1,02 * 4,9) * 10^{-5} = 0,46 * 10^{-5}$$

$$i_2 = (-5,31 + 0,0021 * 347 + 1,02 * 4,9) * 10^{-5} = 0,41 * 10^{-5}$$

$$i_3 = (-5,31 + 0,0021 * 190 + 1,02 * 6,8) * 10^{-5} = 2,02 * 10^{-5}$$

$$i_4 = (-5,31 + 0,0021 * 145 + 1,02 * 6,8) * 10^{-5} = 1,93 * 10^{-5}$$

Результати експерименту занесені таблиці 3.13.

Таблиця 3.11.

Чорнозем

Номер досліду	Фактори		У (i)
	X ₁ (ОВП)	X ₂ (рН)	

1	+594	+7,53	$2,4** 10^{-5}$
2	-162	+7,53	$2,1* 10^{-5}$

Продовження таблиці 3.11

3	+778	-6	$1,01* 10^{-5}$
4	-650	-6	$0,09* 10^{-5}$

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$$

$$i = a_0 + a_1 \text{ОВП} + a_2 \text{рН}$$

$$x_1 = \frac{\text{ОВП} - \frac{\text{max} + \text{min}}{2}}{\frac{\text{max} - \text{min}}{2}} = \frac{\text{ОВП} - \frac{778 + 162}{2}}{\frac{778 - 162}{2}} = \frac{\text{ОВП} - 470}{308}$$

$$x_2 = \frac{p - \frac{\text{max} + \text{min}}{2}}{\frac{\text{max} - \text{min}}{2}} = \frac{\text{ОВП} - \frac{7,53 + 6}{2}}{\frac{7,53 - 6}{2}} = \frac{\text{рН} - 6,67}{0,78}$$

Таблиця 3.12.

Номер дослідю	Фактори		У (i)
	X ₁ (ОВП)	X ₂ (рН)	
1	+594	-6	$2,4*10^{-5}$
2	-162	-6	$2,1*10^{-5}$
3	+778	+7,53	$1,01*10^{-5}$
4	-650	+7,53	$0,9*10^{-5}$

$$a_0 = \frac{1}{4} * (2,6 + 1,9 + 1,01 + 0,9) * 10^{-5} = 1,6*10^{-5}$$

$$a_1 = \frac{1}{4} * (2,6 - 1,9 + 1,01 - 0,9) * 10^{-5} = 0,1*10^{-5}$$

$$a_2 = \frac{1}{4} * (-2,6 - 1,9 + 1,01 + 0,9) * 10^{-5} = 0,65*10^{-5}$$

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2$$

$$y = 1,6 * 10^{-5} + 0,81 * 10^{-5}x_1 + 0,65 * 10^{-5}x_2 = (1,6 + 0,1 * x_1 + 0,65 * x_2) * 10^{-5}$$

$$i = \left(1,6 + 0,1 * \frac{ОВП - 470}{308} + 0,65 * \frac{рН - 6,67}{0,78} \right) * 10^{-5}$$

$$i = (1,6 + 0,003ОВП - 0,65рН) * 10^{-5}$$

$$i_1 = (1,6 + 0,003 * 594 - 0,65 * 7,53) * 10^{-5} = 2,22 * 10^{-5}$$

$$i_2 = (1,6 + 0,003 * 162 - 0,65 * 7,53) * 10^{-5} = 2,098 * 10^{-5}$$

$$i_3 = (1,6 + 0,003 * 778 - 0,65 * 6) * 10^{-5} = 1,013 * 10^{-5}$$

$$i_4 = (1,6 + 0,003 * 650 - 0,65 * 6) * 10^{-5} = 0,95 * 10^{-5}$$

Результати експерименту занесені таблиці 3.13.

Таблиця 3.13.

Результати 2-х факторного експерименту

№	Кодовані значення факторів		Фізичні значення факторів		Відгуки		Нев'язка абс
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂	У _е	Урозрах	
Торф							
1	+1	+1	375	4,9	0,35*10⁻⁵	0,46*10⁻⁵	0,11
2	-1	+1	347	4,9	0,25*10 ⁻⁵	0,41*10 ⁻⁵	0,16
3	+1	-1	190	6,8	2,6*10 ⁻⁵	2,02*10 ⁻⁵	0,58
4	-1	-1	145	6,8	1,9*10⁻⁵	1,93*10⁻⁵	0,03
Σ							0,88
Чорнозем							
1	+1	+1	594	6	2,6*10⁻⁵	2,22*10⁻⁵	0,18
2	-1	+1	162	6	1,9*10 ⁻⁵	2,009*10 ⁻⁵	0,002
3	+1	-1	778	7,53	1,01*10 ⁻⁵	1,013*10 ⁻⁵	0,003
4	-1	-1	650	7,53	0,9*10⁻⁵	0,975*10⁻⁵	0,075
Σ							0,26

Проаналізувавши отримані математичні моделі, зробимо висновок, що найбільш впливовим фактором на швидкість корозії буде рН ґрунту .Отже

для визначення найбільшої небезпеки на шляху прокладання нафтопровідних ділянок необхідно аналізувати саме цей показник.

3.4. Побудова карт біокорозійної активності ґрунтів

Проаналізувавши дані по області та розрахувавши коефіцієнт біокорозійної активності ґрунтів Полтавської області, були побудовані карти:



- дерново-слабопідзолисті
- ясно-сірі та сірі лісові
- темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені
- чорноземи деградовані
- чорноземи типові
- чорноземи звичайні
- чорноземи солонцюваті
- лучно-чорноземні та лучні
- лучно-болотні та болотні
- торф'яно-болотні та торфовища низинні
- дернові переважно-оглесні
- сугілки

<i>Корозійна активність ґрунту залежно від значення рН</i>	
<i>Значення рН</i>	<i>Корозійна активність</i>
8,5-14	низька
6,5-8,5	середня
6-6,5	підвищена
5	висока

Рис 3.13 Карта корозійної активності ґрунтів за рівнем рН



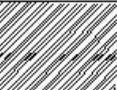
Позначка	Питомий опір, Ом*м	Корозійна активність
	менше 20	висока
	20-50	середня
	більше 50	низька

Рис 3.14 Карта електричних опорів ґрунтів



Рис 3.15 Карта біокорозійної активності ґрунтів для теплого періоду
 Ранжування біокорозійної активності ґрунтів за значенням

Значення $K_a \cdot 10^{-2}$	Класифікація за значенням K_a
$K_a < 30$	Потенційно-агресивні
30—60	Мало-агресивні
60—90	Помітно-агресивні
90—120	Агресивні
$120 > K_a$	Дуже-агресивні

Глинсько-Роздільська

Мічуринськ-Кременчук



Рис 3.16 Карта біокорозійної активності ґрунтів для холодного періоду

Ранжування біокорозійної активності ґрунтів за значенням

Значення $K_d \cdot 10^{-2}$	Класифікація за значенням K_d
$K_d < 30$	Потенційно агресивні
30—60	Мало агресивні
60—90	Помітно агресивні
90—120	Агресивні
$120 > K_d$	Дуже агресивні

3.5. Рекомендації, для перешкоджання утворенню біокорозії

Існує два способи захисту нафтопроводів від корозії: пасивний і активний. Пасивний захист полягає в ізоляції трубопроводів від контакту з навколишнім ґрунтом і обмеженні проникнення в нафтопровід блукаючих струмів; активний – у створенні захисного потенціалу нафтопроводу щодо навколишнього середовища.

Пасивний захист. Одним з найвідоміших і в той же час найнадійніших способів захисту трубопроводів від внутрішньої і зовнішньої корозії є нанесення на поверхню труб ізоляційних матеріалів і просочень. Заглиблені в землю сталеві нафтопроводи повинні мати протикорозійну ізоляцію, що відповідає корозійній активності ґрунту. Протикорозійні захисні покриття повинні бути діелектричними, водонепроникними, хімічно інертними до сталі і ґрунту, міцними і еластичними, з хорошою прилипанням до труби, монолітними і однорідними. Цим вимогам відповідають покриття на бітумній основі (бітумно-гумові, бітумно-мінеральні та ін.) з використанням армованих оболонок зі скловолокнистих матеріалів. Останнім часом набули поширення полімерні ізоляційні покриття (поліетилен і полівінілхлорид), які випускаються у вигляді клейких стрічок шириною 450 мм і товщиною до 0,3 мм. Залежно від ступеня корозії ґрунту застосовують три види ізоляції: звичайну, посилену і дуже посилену. Товщина кожного шару ізоляції 1,25...1,5 мм, тобто загальна товщина всіх шарів підсиленої ізоляції становитиме 6мм, а дуже підсиленої – 9 мм. Особливо ефективні й довговічні у вологих ґрунтах склотканина та склорогіжка, просочені нафтобітумом, розчиненим у бензині. Прості у використанні полівінілхлоридні та поліетиленові клейкі стрічки, покриті клейовим шаром поліізобутилену. Вони приклеюються до труби без використання мастики[29].

Активний захист. Підземні газопроводи захищають від корозії блукаючими струмами – електричними методами активного захисту. Вони включають електричний дренаж, катодний і протекторний захисти. Додатково до пристроїв електричного захисту застосовують секціонування.

Суть цього методу захисту полягає в тому, що нафтопровід роз'єднують на окремі ділянки за допомогою ізолюючих фланців, які обмежують зону дії блукаючих струмів. Вони встановлюються в свердловини разом з вимикаючими пристроями.

Катодний захист трубопроводів від корозії здійснюється за рахунок катодної поляризації за допомогою струму зовнішнього джерела. Установа катодного захисту складається з джерела постійного струму, анодного заземлення у вигляді одиночного або розподіленого електрода і з'єднувальних електричних кабелів. Негативний полюс джерела струму приєднують до трубопроводу, який захищають, а позитивний – до анодного заземлювача. В утвореному електричному колі струм протікає від позитивного полюса джерела струму через анод і землю до трубопроводу, а звідти по кабелю повертається до негативного полюса. У результаті нафтопровід, що є у схемі катодом підлягає корозії, а анодний заземлювач через електрохімічний процес поступово руйнується.

Протекторний (анодний) захист заснований на тому, що катодна поляризація трубопроводу, що захищається, досягається шляхом приєднання до нього анодних заземлювачів (протекторів з кольорових металів), які мають менший електричний потенціал в ґрунтовому середовищі, ніж метал захищуваного трубопроводу, що захищається, і утворює з ним гальванічну пару, в якій катодом є трубопровід, а анодом - протектор. Тому корозія переноситься на більш дешеву і легко відновлювану структуру - протектор. Більш ефективним є комплексний захист від корозії, що поєднує пасивні та активні методи [30].

Заходи щодо захисту розподільних та магістральних нафтопроводів від корозії повинні бути передбачені проектом захисту, який розробляється одночасно з проектом будівництва або реконструкції. Згідно з нормативними документами, до введення в експлуатацію підземних трубопроводів повинні бути введені в дію всі види антикорозійного захисту, передбачені проектом. Заходи захисту від корозії підземних газопроводів, що будуються,

передбачені проектом, включають електрохімічний захист [31]. Засоби захисту від ґрунтової корозії вибирають виходячи з умов прокладки нафтопроводу та даних про корозійну активність середовища (ґрунту та підземних вод) по відношенню до металу трубопроводу з урахуванням техніко-економічних розрахунків. Захист нафтопроводів від зовнішньої та внутрішньої корозії дозволить виключити не тільки економічні збитки, а й запобігти техногенним катастрофам.

Майже вся мережа нафтопроводів в Україні захищена бітумною ізоляцією. Підприємствами ВАТ «Укртранснафта» та ДК «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз України» для переізоляції нафто- та газопроводів використовуються бітумно-полімерні мастики в кількості близько 2 тис. тонн на рік. При загальному скороченні мастичних покриттів «традиційні» нафтобітумні покриття все ж будуть вдосконалюватися. Реалії структури виробництва та застосування протикорозійних матеріалів для ізолювання різних типів магістральних і комунальних трубопроводів Підприємствами ВАТ «Укртранснафта» та ДК «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз України» для переізоляції нафто- та газопроводів використовуються бітумно-полімерні мастики в кількості близько 2 тис. тонн на рік. При загальному скороченні мастичних покриттів «традиційні» нафтобітумні покриття все ж будуть вдосконалюватися. Реалії структури виробництва та застосування[32].

Для того щоб захисні покриття могли ефективно виконувати свої функції, вони повинні відповідати ряду вимог, основними з яких є: стійкість до дії ґрунтових мікроорганізмів і хімічних реагентів, високий електричний опір, механічна і адгезійна міцність, довговічність, стійкість до ультрафіолету. і термічного старіння, нанесення легкості та ін. Ізоляційні покриття повинні забезпечувати виконання своїх функцій у широкому діапазоні температур для будівництва і експлуатації трубопроводів, забезпечуючи їх захист від корозії протягом максимально тривалого терміну експлуатації. Сьогодні при будівництві магістральних нафтопроводів в основному використовують епоксидні, поліпропіленові та поліетиленові

захисні покриття. У США, Канаді, Великобританії та ряді інших країн найбільш популярне заводське епоксидне покриття труб товщиною 350-400 мікрон. Покриття для труб на основі порошкових епоксидних фарб мають високу адгезію до сталі, стійкість до катодного відшаровування, підвищену (до 80-100°C) термостійкість. У той же час ударна міцність епоксидних покриттів, особливо при мінусовій температурі, значною мірою обмежує область їх використання.

У зарубіжній практиці останнім часом все більшу перевагу надають двошаровому епоксидному покриттю труб. Такі покриття мають внутрішній ізоляційний і зовнішній захисний шар загальною товщиною 750-1000 мкм, мають високу стійкість до абразивного зношування і характеризуються підвищеною ударною міцністю, яка практично не змінюється при температурі зовнішнього середовища (від + 40°C до -40°C). Безсумнівно, заводські поліпропіленові покриття є одними з найбільш перспективних захисних покриттів для трубопроводів. Порівняно із заводськими поліетиленовими покриттями для труб поліпропіленові характеризуються більшою (до 110–140°C) термостійкістю, підвищеною penetрацією, стійкістю до ударів, порізів і стирання. Завдяки високій водостійкості та підвищеній механічній міцності поліпропіленові покриття широко застосовуються за кордоном при будівництві морських трубопроводів. Однак, незважаючи на всі переваги заводських поліпропіленових покриттів для труб, у них є один, але дуже істотний недолік - низька морозостійкість. Це обмежує їх використання в зимовий період, при температурах зберігання ізотермічних труб нижче мінус 20°C і при температурах будівництва трубопроводів нижче мінус 10°C.

Останнім часом найбільшу популярність при будівництві магістральних і промислових трубопроводів, водопроводів, трубопроводів комунального призначення отримали двошарові поліетиленові покриття на основі термоплавкового полімерного підшару товщиною 300–500 мкм і зовнішнього поліетиленового шару загальною товщиною не менше 2,5-3,0

мм. Ще більш ефективним захисним покриттям є тришарове поліетиленове покриття труб. Введення в конструкцію захисного покриття додаткового шару – епоксидного праймера товщиною 100–200 мкм – дозволило суттєво підвищити адгезійні характеристики покриття, його водостійкість, стійкість до катодного відшарування. Тришарове поліетиленове покриття характеризується підвищеною (до 80°C) теплостійкістю. Під тришаровими покриттями не було зафіксовано випадків стрес-корозії трубопроводів[33].

Заводські тришарові поліетиленові покриття труб відносяться до покриттів посиленого типу нормального або спеціального виконання і можуть використовуватися без обмежень діаметра труб.

Вітчизняні підприємства АТ «Харцизький трубний завод» та НВП «Укртрубоізол» (м. Дніпропетровськ) виробляють труби з поліетиленовим захисним покриттям для підземного прокладання в помірних кліматичних умовах за температури експлуатації від - 30 °С до + 80 °С. На сьогоднішній день заводська поліетиленова ізоляція вважається найбільш надійною і якісною для антикорозійного захисту за умови дотримання чинних технічних умов і технічної документації[34].

Найбільшого поширення набули поліуретанові та епоксидно-поліуретанові захисні покриття для ізоляції фасонних з'єднувальних частин і арматури магістральних трубопроводів. Ці види захисних покриттів, які наносяться на очищену поверхню ізоляційних деталей методом «гарячого» безповітряного напилення двокомпонентних (основа + затверджувач) ізоляційних матеріалів, за товщиною, температурним діапазоном використання, набором захисних і експлуатаційні властивості практично сумірні з заводськими полімерними покриттями труб. Вперше поліуретанові покриття були застосовані при будівництві Балтійської трубопровідної системи, коли для ізоляції використано: поліуретанове покриття «Sorop Nucote 165» (Великобританія) та епоксидно-поліуретанове покриття «UP 1000 I Frucs 1000 A» (Японія). зігнуті гілки в умовах колії. Для практичного

використання на ринку також представлено декілька видів захисних покриттів: Protegol UR-Coating 32-55, Protegol UR-Coating 32-60 (Німеччина).

Ці види покриттів, як і покриттів, отриманих на основі термореактивних рідких ізоляційних матеріалів, здатні тверднути за температури навколишнього середовища вище +5...10°C. Це значно обмежує можливість утеплення фасонних частин у зимовий період. Крім того, нанесення поліуретанових покриттів вимагає якісної підготовки поверхні виробів і їх абразивного очищення до шорсткості поверхні 80-100 мікрон. Тому ізоляцію елементів трубопроводу зазвичай проводять у стаціонарних заводських умовах. Незважаючи на всі позитивні якості поліуретанових покриттів, вони практично непридатні для нанесення в трасових умовах за мінусових температур, так як вимагають тривалого часу полімеризації, яка відбувається тільки при плюсовій температурі (до 8 годин при температурі 20°C). Крім того, деякі марки поліуретанових мастик є токсичними.

Для ізоляції трубопроводів в трасових умовах на сьогодні найбільш поширеними є три типи захисних ізоляційних покриттів:

- бітумно-мастикові покриття;
- полімерні плівкові покриття;
- комбіновані мастико-плівкові покриття

Бітумно-мастикові покриття протягом багатьох десятиріч були основним типом захисних покриттів вітчизняних трубопроводів.

Основними перевагами покриттів з бітумної мастики є їх дешевизна, великий досвід використання і досить проста технологія нанесення в заводських і трасових умовах. Бітумні покриття проникні для струмів електрохімічного захисту.

Конструкція покриття з бітумних мастик розроблена в результаті їх багаторічної експлуатації. Перший - це шар бітумної або бітумно-полімерної ґрунтовки, отриманої шляхом нанесення на трубу розчину бітуму в бензині або дизельному паливі, який заповнює всі мікронерівності на поверхні металу. Праймер служить для забезпечення більш повного контакту і, як

наслідок, кращого зчеплення поверхні металу з основним ізоляційним шаром - бітумною мастикою, яка покрита захисною плівкою зовнішнього шару. Захисними обгортками служили обгорткові матеріали на бітумно-каучуковій основі типу «бризол», «гідроізол» або крафт-папір. Однак сьогодні полімерні захисні покриття товщиною не менше 0,5 мм, бітумна або бітумно-полімерна ґрунтовка, шар бітумної або бітумно-полімерної мастики, шар армуючого матеріалу (склотканина або склосітка), другий шар ізоляційної мастики, другий шар армуючого матеріалу використовуються сьогодні. зовнішній шар захисної полімерної плівки. Загальна товщина бітумно-мастичного покриття посиленого типу складає не менше 6,0 мм, а для покриттів трасового нанесення нормального типу – не менше 4,0 мм.

Для нанесення бітумно-мастичних покриттів ізоляційними мастиками служать: бітумно-гумові мастики, бітумно-полімерні мастики (з добавками поліетилену, атактичного поліпропілену), бітумні мастики з добавками термопластів, мастики на основі асфальто-смолистих речовин " типу «Асмол». В останні роки з'явився ряд бітумних мастик нового покоління, що володіють поліпшеними властивостями. Бітумну мастику наносять на трубу при температурі 150-185°C. Розплавляючи холодну ґрунтовку, мастика проникає в усі мікронерівності поверхні металу, забезпечуючи хороше зчеплення ізоляційного покриття.

Для захисту шару бітумної мастики його покривають захисною плівкою (склополотно, бризол, бікарул, плівка ПВХ).

Ізоляційні покриття на основі бітумних мастик розраховані на температуру продукту, що транспортується від -10°C до +40°C на трубопроводах діаметром не більше 820 мм. Хоча термін експлуатації бітумних покриттів, як правило, не перевищує 10-15 років, вони продовжують залишатися на ринку основних ізоляційних матеріалів.

Полімерно-плівкові покриття, які включають шар клейової ґрунтовки, один шар полімерної ізоляційної плівки товщиною не менше 0,6 мм і один шар захисної полімерної плівки товщиною не менше 0,6 мм, порівняно з

бітумними мастиками, є більш технологічними при нанесенні і дозволяють значно механізувати даний процес. Крім того, вони мають високі діелектричні властивості.

Виробляють ізоляційні плівки на основі поліетилену та полівінілхлориду. У системі полімерного плівкового покриття функції ізоляційної плівки та захисної плівки різні. Ізоляційна плівка забезпечує зчеплення покриття зі сталлю, стійкість до катодного відшарування, виконує функцію захисного бар'єру, що запобігає проникненню води, ґрунтового електроліту, кисню, тобто корозійних речовин, на поверхню труб. У той час як захисна плівка служить для підвищення, головним чином, механічної, ударної міцності покриття, вона захищає плівкове покриття від пошкоджень при укладанні трубопроводу в траншею і засипці її основою, а також при усадці основи.

Основним недоліком липких полімерних плівок є поступова втрата адгезії до металу, тому через 5 років після їх нанесення метал залишається незахищеним від корозії; низький опір зсуву під дією заземлення. Ще одним недоліком плівкових покриттів є утворення в зоні шва «шатрових пустот», котрі відтоді стають джерелами корозії.

Досвід застосування полімерних плівкових покриттів показав, що термін служби плівкових покриттів на трубопроводах діаметром 1020 мм і вище складає від 7 до 15 років, що в 2-4 рази менше нормативного терміну амортизації магістральних трубопроводів (не менше 33 роки).

Однак серед широкого спектру доступних захисних покриттів практично неможливо віддати перевагу використанню лише одного універсального покриття, яке б забезпечувало ефективний захист металу від корозії в різних умовах будівництва і експлуатації. Ізоляційні покриття підземних споруд піддаються мікробіологічній, або біокорозії, спричиненій ґрунтовими мікроорганізмами та корозійною активністю ґрунтів.

Найбільш ефективним засобом захисту ізоляційного покриття від мікробіологічного забруднення є біоцидні добавки, які пригнічують ріст і

розвиток корозійних мікроорганізмів. Також важливо використовувати біоцидні речовини для обробки поверхонь трубопроводів, зокрема ділянок трубопроводів у важкодоступних місцях, під час ремонту трубопроводів у колійних умовах перед нанесенням ізоляційного покриття. Біоцидні добавки повинні відповідати певним вимогам [35]:

- практично повністю (99 %) пригнічувати життєдіяльність певного роду бактерій;
- не повинна залишати основні фізико-механічні властивості основної мастики;
- хороша сумісність з бітумною основою;
- характеризуватися пролонгованою дією біоцидної активності;
- не бути токсичними.

Незважаючи на те, що в зарубіжній практиці боротьби з мікробіологічною корозією біоциди (антисептики) широко застосовуються, досвід їх застосування показав, що універсальних біоцидів не існує.

Однією з причин порушення однорідності та зниження захисних властивостей покриттів є життєдіяльність закладених мікроорганізмів. Поселяючись на покриттях, мікробні групи з різними трофічними і фізіологічними функціями викликають їх біодеградацію.

Тому проблема біодеградації захисних ізоляційних покриттів є важливою еколого-технологічною проблемою, яка на сьогодні залишається досить актуальною та потребує додаткових наукових досліджень.

Корозію металу в підземному середовищі не слід розглядати як суто електрохімічний процес, але необхідно отримати біологічний фактор, яким є біоелектрохімічний процес.

Для підвищення ефективності антикорозійного захисту підземних нафто- і газопроводів та інших споруд необхідно отримати не тільки результат попереднього аналізу корозійної активності фундаментів, в які вони закладені, але й біостійкість захисних ізоляційних покриттів.

В зв'язку з цим, актуальною залишається проблема, пов'язана з розробкою композицій ізоляційних біостійких покриттів (КІБП) для захисту підземних споруд, які б володіли підвищеними протикорозійними характеристиками та проявляли біостійкість до дії мікроорганізмів в ґрунтах різної корозійної активності.

Авторами [36,37] розроблені модифіковані мастики на бітумно-полімерній основі, які є біостійкими до дії корозійноактивних ґрунтових мікроорганізмів, володіють підвищеними протикорозійними характеристиками, гідрофобними та пластифікуючими властивостями, тому їх можна з успіхом використовувати для нанесення при переізоляції трубопроводів на таких проблемних ділянках траси, як болотні, замулені ґрунти, солончаки, ґрунти з підвищеною вологістю, де існує найбільший ризик розвитку мікробіологічної корозії.

ВИСНОВКИ

1. На основі одержаних результатів значення корозійної активності визначено, що чорноземи звичайні та торфовища належать до агресивних типів.
2. Окисно-відновний потенціал залежний від багатьох факторів. Так при підвищенні значення рН, окисно-відновний потенціал E_h буде меншим. У підкисленому ґрунті навпаки – підвищення ОВП. Однак перезволоження ґрунтів, їх ущільнення призводить до зниження ОВП.
3. Після вилучення сталевих пластин з ґрунтів нами було визначено, що внаслідок корозійних процесів, найбільші втрати маси зразка мав зразок № 2, котрий зберігався в теплих умовах у торфі. Найменші втрати мав супісок, котрий був взятий нами для порівняння.
4. Повний факторний експеримент за даними факторами, не виявив ніякої точності, бо для різних типів ґрунтів позитивними є різні умови.
5. По шляху мережі нафтопроводів на межі зміни типів ґрунтів Полтавської області, виділено потенційно-небезпечні райони, через зміну середовища, що впливає на корозійну активність ґрунтів. На цих ділянках ймовірність аварійних ситуацій збільшується.
6. При будівництві та експлуатації нафтопроводів в місці знаходження чорноземів та торфу проектувальники та служби експлуатації повинні забезпечити регулярний контроль за станом трубопроводу, пасивний захист трубопроводу, використовуючи біостійкі покриття.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Об'єкт дослідження потребує постійного моніторингу, оскільки аварійні витіки нафти та нафтопродуктів завдають значної шкоди навколишньому середовищу. Тому надійна робота трубопроводів є необхідною умовою їх експлуатації, а питання впливу біокорозійних процесів у ґрунтах на поверхню нафтопроводів є надзвичайно актуальною проблемою.

2. Фактори впливу на біокорозію ґрунтів рН та Eh(OBП) у поєднанні з визначеним коефіцієнтом корозійної активності (Ka), надали можливість оцінити ступень корозійної агресивності

3. Проведено аналіз наявних у ґрунтовому середовищі бактерій, що впливають на біокорозійні процеси.

4. Виділено потенційно-небезпечні райони на межі зміни типів ґрунтів. Визначено та проаналізовано рН та OBП, що впливає на корозійну активність ґрунтів. Саме на таких ділянках ймовірність аварійних ситуацій збільшується.

5. Виявлено наявність сульфатредуючих бактерій та визначено коефіцієнт корозійної активності типів ґрунтів Полтавської області експрес методикою.

6. Проаналізувавши отримані математичні моделі, визначили, що найбільш впливовим фактором на швидкість корозії є рН ґрунту.

7. Побудовано карти біокорозійної активності ґрунтів Полтавської області та визначено потенційно-небезпечні ділянки в межах прокладання нафтопроводів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ВБН В.3.1-00013741-11:2009 Магістральні нафтопроводи. Лінійна частина. Ремонт на перетинах з перешкодами та на ділянках зі складним рельєфом місцевості. Київ, 2009.
2. Jana Kaduková, Erika Škvareková, Vojtech Mikloš & Renáta Marcinčáková. Assessment of Microbially Influenced Corrosion Risk in Slovak Pipeline Transmission Network. *Journal of Failure Analysis and Prevention* volume 14, pages191–196 (2014). DOI:10.1007/s11668-014-9782-x
3. Canadian Energy Pipeline Association, 2015 Pipeline Industry Performance Report. Calgary, AB, Canada, 2015.
4. Y.F. Cheng **Environmental hazard: Monitor safety of aged fuel pipelines** *Nature*, 529 (2016), p. 156
5. Зафіксовано витік нафти з нафтопроводу “Дружба”: <http://news.uzhgorod.ua/m/977>.
6. . Н.М. Гринчишин. ПРИЧИНИ ТА НАСЛІДКИ ВИТОКІВ НАФТИ І НАФТОПРОДУКТІВ НА ТРУБОПРОВІДНОМУ ТРАНСПОРТІ У ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ. Науковий вісник НЛТУ України. – 2015. – Вип. 25.8
7. На Закарпатті ліквідовують наслідки аварії нафтопродуктопроводу <https://uzhgorod.net.ua/news/33727>.
8. В. Зайченко, Є.П. Чвертко, В. Шевченко, А.Є. Пірумов, О.Й. Радецька. АНАЛІЗ АВАРІЙ НА МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДАХ ЗА ПЕРІОД 2005 – 2015 рр. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2017.
9. Priyanka EB, Thangavel S. Environmental Impacts and its Concerns due to Accidents in Oil& Gas Pipelines around India-a Minireview. 2020. *J Atmos Earth Sci* 4: 015. DOI:10.24966/AES-8780/100015
10. Government of Canada, Transportation Safety Board of Canada URL: <http://www.bst-tsb.gc.ca/eng/rapports-reports/pipeline/1997/p97h0063/p97h0063.html>
11. List of pipeline accidents in the United States. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_pipeline_accidents_in_the_United_States

12. Oil pipeline accident in the USA [in Ukrainian].: <https://www.5.ua/svit/avariia-nanaftoprovodi-u-ssha-21493.html>

13. М.С. Полутренко. МІКРОБІОЛОГІЧНА КОРОЗІЯ ПІДЗЕМНИХ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ТА СПОСОБИ ЇХ ЗАХИСТУ. Наука виробництву. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2012. №4(45)

14. ГАНОШЕНКО О.М., СТЕПОВА О.В. (УКРАЇНА, ПОЛТАВА).АНАЛІЗ БАКТЕРІАЛЬНОГО СКЛАДУ ГРУНТУ ТА ЙОГО КОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ. Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VII Міжнародний конгрес, 12-14 жовтня 2022, Україна, Львів : Збірник матеріалів — Київ :Яроченко Я. В., 2022. — С107.

15. ДСТУ. Єдина система захисту від корозії та старіння. Методи оцінки біокорозійної активності ґрунтів і виявлення наявності мікробної корозії на поверхні підземних металевих споруд. ДСТУ 3291-95. Київ

16. ГОСТ 9.602- 2016. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии

17. Конспект лекцій з дисципліни «Захист обладнання від корозії» для студентів напряму підготовки: 6.051401 – «Хімічна технологія неорганічних речовин», /Укладач: к. т. н., доцент кафедри ПБЗХ Анацький А.С., Дніпродзержинськ, ДДТУ, 2014 р.

18. Степова О.В. "Районування території Полтавської області за показниками корозійної агресивності ґрунтів" Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка: <http://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PolNTU/4833/1/22.pdf>

19. Ґрунти України: навчально-методичний посібник / З. П. Паньків. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2017. – 112 с.

20. Мойш Н. І. Ґрунтознавство: Курс лекцій. – Ужгород: Гражда, 2011. – 368 с

21. Екологічний атлас Полтавщини /За ред. Голика Ю.С., Барановського В. А., Ілляш О. Е. – Полтава: Полтавський літератор, 2006. – Випуск 4. – 128 с
22. ДСТУ. Якість ґрунту. Визначення рН. ДСТУ ISO 10390:2001
23. Хімія ґрунтів. Основи теорії і практикум : навч. посібник / А. А. Кирильчук,
24. О. С. Бонішко. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2011. – 354 с
25. Гамкало З.Г. Екологічна якість ґрунту: навчальний посібник. — Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2009. 412 с.
26. ДСТУ 3291-95 ЄСЗКС. Методи оцінки біокорозійної активності ґрунтів і виявлення наявності мікробної корозії на поверхні підземних металевих споруд
27. Методи захисту обладнання від корозії та захист на стадії проектування [Електронний ресурс] : підр. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології», спеціалізації «Електрохімічні технології неорганічних та органічних матеріалів» / М. В. Бик, О. І. Букет, Г. С. Васильєв – Електронні текстові дані – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. –318
28. Ободяньська О.І., Коваль О. І. ЗАХОДИ ЗАХИСТУ ПІДЗЕМНИХ ГАЗОПРОВІДІВ ВІД КОРОЗІЇ
29. Є.І. Крижанівський, М.С. Полутренко, Я.Т. Федорович, І.В. Федорович. ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІЗОЛЯЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПІДЗЕМНИХ НАФТОГАЗОПРОВІДІВ ВІД КОРОЗІЇ. Актуальні питання у нафтогазовій галузі. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2012. №3(44)
30. Ратушняк Г. С. Моніторинг технічного стану підземних сталевих газопроводів / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободяньська // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – 2016. – № 2 (21). – С. 99–104.
31. Ратушняк Г. С. Корозійно-діагностичний моніторинг підземної сталевих газотранспортної мережі / Г. С. Ратушняк, О. І. Ободяньська // Вісник машинобудування та транспорту. – 2017. – № 1 (5). – С. 90–98.

32. Середницький Я. Сучасна протикорозійна ізоляція в трубопроводному транспорті (2-а частина) / Я. Середницький, Ю. Банахевич, А. Драгілев. – Львів: ТЗОВ «Сплайн», 2004. – 276 с.

33. Є.І. Крижанівський, М.С. Полутренко, Я.Т. Федорович, І.В. Федорович. ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ІЗОЛЯЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ ПІДЗЕМНИХ НАФТОГАЗОПРОВОДІВ ВІД КОРОЗІЇ. Актуальні питання у нафтогазовій галузі. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2012. №3(44)

34. Довідник-каталог «Сучасні протикорозійні матеріали для захисту об'єктів нафтогазового комплексу України» / В.М. Василюк, В.А. Черватюк, В.П. Васьківський, Ю.Г. Федоренко, С.В. Ткач. – Л.: СПОЛОМ – 2008. –170 с.

35. Бойченко С.В. Забезпечення біологічної стабільності вуглеводневих палив /С.В. Бойченко. Н.М.Кучма

36. Пат. 822775 Україна, МПК (2006) C23F 11/00, F16L 58/02 Спосіб захисту підземних нафтогазопроводів від корозії / Крижанівський Є.І., Федорович Я.Т., Полутренко М.С., Гужов Ю.П., Федорович І.В.; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № а2006610107; опубл. 12.05.2008, Бюл. №9, 2008р.

37. Пат. 89709 Україна, МПК (2009) C23F 11/00, F16L 58/02 Спосіб протикорозійного захисту підземних нафтогазопроводів, прокладених в болотних, замулених ґрунтах, які містять сульфатредуючі бактерії / Крижанівський Є.І., Федорович Я.Т., Полутренко М.С., Гужов Ю.П., Федорович І.В.; заявник і патентовласник Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. – № а200807330; опубл. 25.02.2010, Бюл. №4, 2010 р.

38. Ye Huang, Dake Xu, Lu-yao Huang, Yun-tian Lou, Jiang-Baota Muhadesi, Hong-chang Qian, En-ze Zhou, Bao-jun Wang, Xiu-Tong Li, Zhen Jiang, Shuang-Jiang Liu, Da-wei Zhang, Cheng-Ying Jiang. Responses of soil microbiome to steel corrosion npj Biofilms and Microbiomes (IF8.462), DOI: [10.1038/s41522-020-00175-3](https://doi.org/10.1038/s41522-020-00175-3)

39. Корнієнко С. В., Корбутяк О. М. Проблеми впливу ґрунтового середовища на корозію магістральних газопроводів України. Вісник Київ. унту. – Серія «Геологія». – 2009. – №46. – С. 42–43.

40. УКРТРУБОІЗОЛ <https://uti.ua>

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра прикладної екології та природокористування



Графічні матеріали до кваліфікаційної роботи
на тему: РАЙОНУВАННЯ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ПОКАЗНИКОМ
БІОКОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ ҐРУНТІВ»

Розробила
студентка групи 601-МТЗ
Керівник:
к.т.н., доцент

Куц О.Ю.
Ганошенко О.М.

Полтава 2022

Раїонування Полтавської області за показником біокорозійної активності ґрунтів

Мета роботи: встановлення потенційно-небезпечних ділянок в межах прокладання нафтопроводу в межах Полтавської області, шляхом дослідження біокорозійної активності ґрунтів

Задачі дослідження:

1. Проаналізувати небезпеку біокорозійних процесів.
2. Проаналізувати наявність у ґрунтового середовищі бактерій, що впливають на біокорозійні процеси.
3. Оцінити біологічну активність ґрунтів Полтавської області.
4. Визначення і аналіз рН, окисно-відновного потенціалу ґрунтів Полтавської області.
5. Виявлення сульфатредуючих бактерій у ґрунтах Полтавської області.
6. Побудова карт біокорозійної активності ґрунтів в межах Полтавської області.

Об'єкт дослідження: вплив чинників на біокорозійну активність ґрунтів Полтавської області

Предмет дослідження: біокорозійний процес ґрунтів Полтавської області

Практичне значення:

- результати визначення зон корозійної активності ґрунтів на межі прокладання нафтопроводів можуть бути використані при обстеженні нафтопроводів на території Полтавської області
- пропонується використати в освітньому процесі студентів спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища на кафедрі прикладної екології та природокористування Національного університету "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка" в межах дисциплін: "Ґрунтознавство", "Техноекологія", "Екологічні аспекти нафтогазової справи"

Методи дослідження:

- експериментальні (при хімічному аналізі корозійних властивостей ґрунтів),
- аналітичні методи (при розробці карт біокорозійних процесів ґрунтів Полтавської області на межі прокладання нафтопроводів),
- математичні (при побудові математичної моделі та розрахунку коефіцієнта корозійної активності).

Наукова новизна, вперше:

- визначено бактеріологічний склад досліджуваних ґрунтів Полтавської області розташованих на межі нафтопроводів.
- визначено корозійну активність досліджуваних ґрунтів Полтавської області в межах прокладання мережі нафтопроводів.
- побудовано таблиці біологічної активності досліджуваних ґрунтів.
- побудовано математичну модель та визначено коефіцієнт корозійної активності ґрунтів Полтавської області.
- побудовано карти корозійної активності на межі прокладання мережі нафтопроводів для Полтавської області.

607-МТЗ 9979193 КР	
Раїонування Полтавської області за показником біокорозійної активності ґрунтів	
Мета роботи	Постановка задачі
Об'єкт дослідження	КРМ 2
Предмет дослідження	2

АНАЛІЗ ВІДОМИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

НОРМАТИВНІ ДОКУМЕНТИ

ДСТУ
Трубопроводи сталеві магістральні.
Загальні вимоги до захисту від корозії
ДСТУ 4219-2003

ДСТУ
Методи оцінки біокорозійної активності
грунтів і виявлення наявності мікробної
корозії на поверхні підземних металевих споруд
ДСТУ 3291-95 ЕСЗКС.

ДСТУ
Нафтопроводи магістральні.
Захист резервуарів проти корозійний.
Загальні технічні вимоги
ДСТУ 7703:2015

ДСТУ
Єдина система захисту від корозії
МЕТОДИ ОЦІНКИ
БІОКОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ ГРУНТІВ
І ВИЯВЛЕННЯ НАЯВНОСТІ МІКРОБНОЇ КОРОЗІЇ
НА ПОВЕРХНІ ПІДЗЕМНИХ МЕТАЛЕВИХ СПОРУД
ДСТУ 3291-95

ВБН
«Магістральні трубопроводи.
Будівництво. Лінійна частина.
Очищення порожнини та випробування»
В.2.3.-0001374 1-09:2009

НАУКОВІ ПУБЛІКАЦІЇ

Jana Kadukova, Erika Skvarekova, Vojtech Miklos & Renata Marcincakova. Assessment of Microbially Influenced Corrosion Risk in Slovak Pipeline Transmission Network. Journal of Failure Analysis and Prevention volume 14

Priyanka EB, Thangavel S. Environmental Impacts and its Concerns due to Accidents in Oil & Gas Pipelines around India—a Minireview.

Ye Huang, Dake Xu, Lu-yao Huang, Yun-tian Lou, Jiang-Baota Muhadesi, Hong-chang Qian, En-ze Zhou, Bao-jun Wang, Xiu-Tong Li, Zhen Jiang, Shuang-Jiang Liu, Da-wei Zhang, Cheng-Ying Jiang. Responses of soil microbiome to steel corrosionnpj Biofilms and Microbiomes

Степова О.В. Районування території Полтавської області за показниками корозійної агресивності

Корнієнко С. В., Корбутяк О. М. Проблеми впливу ґрунтового середовища на корозію магістральних газопроводів України.

Степова О.В., Хоменко А.С. Оцінка впливу показників ґрунтового середовища на корозійний стан сталевих нафтопроводів.

Біокорозійна активність ґрунтів

Експрес-метод оцінки біокорозійної активності ґрунтів

Метод оцінки біокорозійної активності ґрунтів за комплексом мікробіологічних і фізико-хімічних показників

Висновок: З двох обраних методів експрес-метод є більш простим у розрахунках і не потребує додаткових досліджень та обладнань.

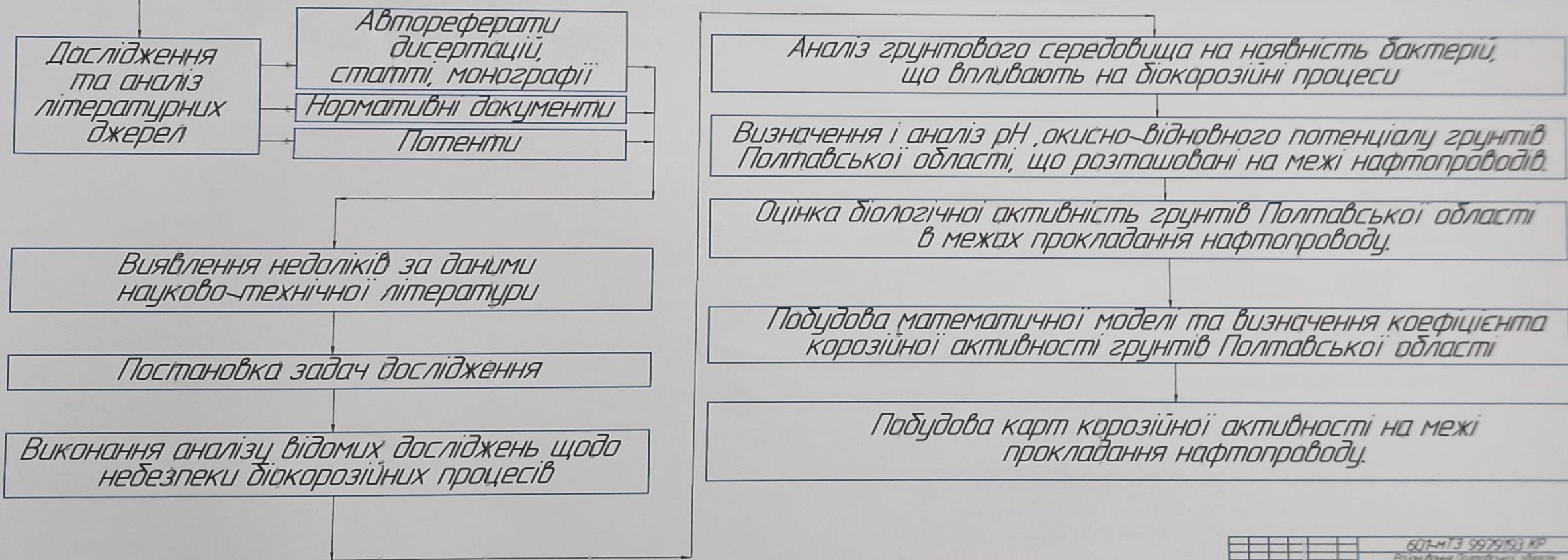
Недоліками відомих досліджень є недостатній аналіз аврії на нафтопроводах та причин їх виникнення. Відсутність аналізу впливу ґрунтів на трубопроводи. У дослідженнях описуються впливи тільки одного типу ґрунту, Відсутній аналіз впливу різних типів ґрунтів з іншими типами ґрунту на нафтопроводах.

601-МТЗ 9979193 КР					
Районування Полтавської області за показником біокорозійної активності ґрунтів					
№	Датум	Вид	Вид	Вид	Вид
1	2023	Аналіз	Аналіз	Аналіз	Аналіз
Аналіз відомих досліджень				КРМ	3
Наука публікації, методи досліджень, недоліки відомих досліджень					

СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА ДОСЛІДЖЕННЯ

РАЙОНУВАННЯ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ПОКАЗНИКОМ БІОКОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ ҐРУНТІВ

Мета роботи: встановлення потенційно небезпечних ділянок в межах прокладання нафтопроводу в межах Полтавської області, шляхом дослідження біокорозійної активності ґрунтів



607-МТЗ 9979193 КР	
Районування Полтавської області	
за показником біокорозійної активності ґрунтів	
Структурно-логічна схема дослідження	№ 4
Структурно-логічна схема дослідження	№ 4
Структурно-логічна схема дослідження	№ 4

АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕКИ БІОКОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ГРУНТАХ

Види корозії:



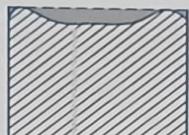
Суцільна рівномірна



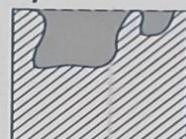
Суцільна нерівномірна



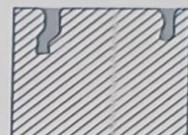
Структурно-вибіркова



Плямами



Виразками



Точками (пітингова)



Підповерхнева



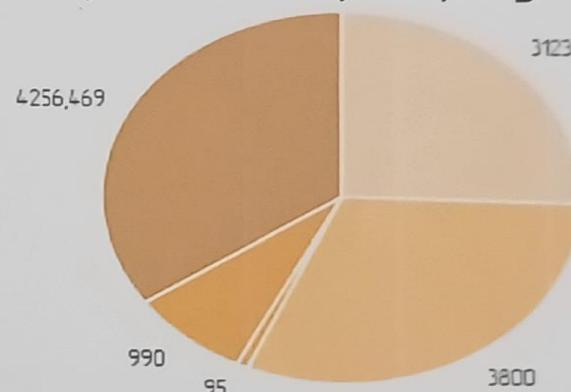
Міжкристалітна

Карта нафтопроводів Полтавської області

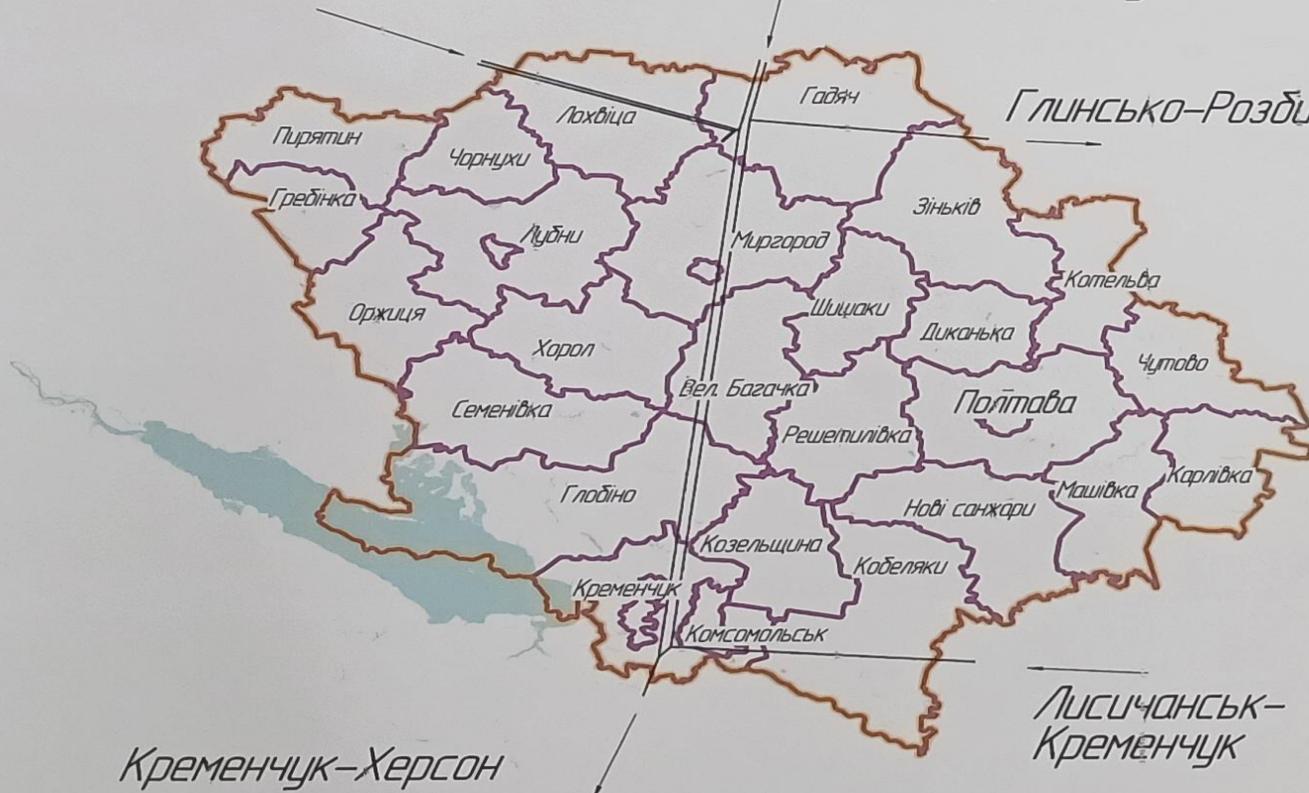
Глинсько-Роздільська

Мічурінськ-Кременчук

Причини утворення наслідків викидів та розливів нафтопродуктів, м³



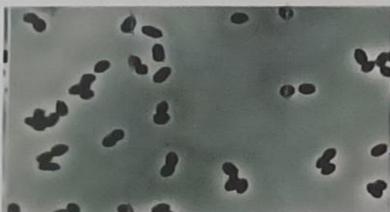
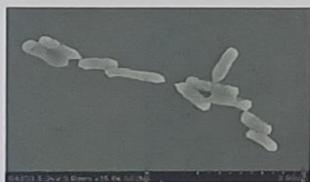
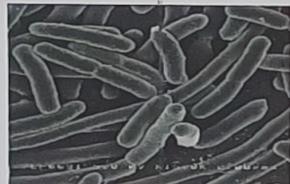
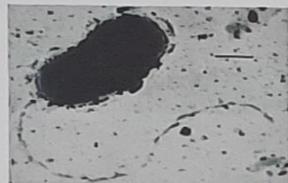
- повздожня або радіально корозійно-втомна тріщина
- точнова корозія
- комбінація локалізованої корозії та наскрізного розтріскування
- корозійне розтріскування
- зовнішня корозія



Кременчук-Херсон

601-НТЗ 9979193 КР	
РАЙОНУВАННЯ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ПОКАЗНИКОМ БІОКОРОЗІЙНОСТІ ґРУНТІВ	
Аналіз небезпеки біокорозійних процесів у ґрунтах	КР 5
Відомо про небезпеку для здоров'я населення	немає
Відомо про небезпеку для довкілля	немає
Відомо про небезпеку для економіки	немає

Хактеристики мікроорганізмів окремих типів та їх особливості



Тип бактерії	Потреба в кисні	Відновлювані або окислювані компоненти ґрунту	Головні кінцеві продукти	Місце проживання	Значення рН		Межі температури для життєдіяльності	
					Оптимальні	Граничні	Оптимальні	Граничні
Сульфат-відновлювальні	Анаеробні	Сульфати, тіосульфати, сульфіди, сірка	Сірководень	Вода, дріб, стічні води, нафтові свердловини, ґрунт, донні осади, цемент	6-7,5	5,0-9,0	25-30	Макс. 55-65
Сіро-окислювальні	Аеробні	Сірка, сульфіди, тіосульфати	Сірчана кислота	Ґрунтові складові, сірчані та гірські породи, фосфати, ґрунти, що містять неповністю окислені сірчані сполуки	2,0-4,0	0,5-0,6	28-30	Повільн ріст при 18-37
Тіонові	Аеробні	Тіосульфати, сірка	Тіосульфати до сульфатів та сірки, сірка до сульфатів	Морська та річкова вода, дрібні стічні води, ґрунт	Близько до нейтральних	7,0-9,0	30	-
Залізні	Аеробні	Карбонат заліза, бікарбонат заліза, бікарбонат магнію	Гідрат окису заліза	Стічна та проточна вода містить солі заліза та органічні речовини	-	-	24	5-40
Нітрифікуючі	Факультативно аерабні або мікроаерофільні	Сірка, сірководень, тіосульфати, тетратіонатл	Окислюють сульфати до сірки за анаеробних умов, вживаючи нітрат як споживач водню, який відновлюється до азоту	Ґрунт, торф, дріб, вода річок і каналів	7,0-9,0	5,0-10,0	30	-

601-МТЗ 9979193 КР
РАЙОНУВАННЯ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ПОКАЗНИКОМ БІОКОРОЗИЙНОЇ АКТИВНОСТІ ҐРУНТІВ

Місц. дослід.	Місц. МВБС	Дата	Місц. АСМ	Місц. АСМ
Розробник	Аналіз ДІ	2022	Склад	Асмет
Керівник	Завантаж.		АКРМ	6

Хактеристики мікроорганізмів окремих типів та їх особливості

Таблиця хактеристик мікроорганізмів та їх особливості, зображення окремих видів мікроорганізмів

№1 Установлено зразки мікроорганізмів: *Acetivibrio*, *Thiobacillus*, *Thiobacillus*, *Thiobacillus*

Електричний опір ґрунтів та його вплив на корозію

Карта електропровідності ґрунтів Полтавської області на межі прокладання нафтопроводів

Глинсько-Раздільська

М'чуринськ-Кременчук



Класифікація електричного опору, за його значенням

Позначка	Питомий опір, Ом*м	Корозійна активність
	менше 20	висока
	20-50	середня
	більше 50	низька

Типи ґрунтів

- дерново-слаботідолисті
- чорноземи солонцюваті
- ясно-сірі та сірі лісові
- лучно-чорноземні та лучні
- темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені
- лучно-болотні та болотні
- чорноземи деградовані
- торф'яно-болотні та торфовища низинні
- чорноземи типові
- дернові переважно-огієсні
- чорноземи звичайні
- сугілки

Математична модель для визначення швидкості корозії у торфі

$$i = (-5,31 + 0,0021 \times \text{ОВП} + 1,02 \times \text{рН}) \times 10^{-5}$$

Математична модель для визначення швидкості корозії у чорноземі

$$i = (1,6 + 0,003 \times \text{ОВП} + 0,65 \times \text{рН}) \times 10^{-5}$$

Результати 2-х факторного експерименту

№	Кодовані значення факторів		Фізичні значення факторів		Відгуки		Нев'язка abs	
	X1	X2	X1	X2	Уе	Урозрах		
Торф								
1	+1	+1	375	4,9	$0,35 \times 10^{-5}$	$0,46 \times 10^{-5}$	0,11	
2	-1	+1	347	4,9	$0,25 \times 10^{-5}$	$0,41 \times 10^{-5}$	0,16	
3	+1	-1	190	6,8	$2,6 \times 10^{-5}$	$2,02 \times 10^{-5}$	0,58	
4	-1	-1	145	6,8	$1,9 \times 10^{-5}$	$1,93 \times 10^{-5}$	0,03	
Σ								0,88
Чорнозем								
1	+1	+1	594	6	$2,6 \times 10^{-5}$	$2,22 \times 10^{-5}$	0,18	
2	-1	+1	162	6	$1,9 \times 10^{-5}$	$2,009 \times 10^{-5}$	0,002	
3	+1	-1	778	7,53	$1,01 \times 10^{-5}$	$1,013 \times 10^{-5}$	0,003	
4	-1	-1	650	7,53	$0,9 \times 10^{-5}$	$0,975 \times 10^{-5}$	0,075	
Σ								0,26

601-НТЗ 9979193 КР

РАЙОНУВАННЯ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ІНКАСАЦІЮ БІОКОРОЗІЇ АЛІМЕЛІТІВ

Електричний опір ґрунтів та його вплив на корозію

Класифікація електричного опору ґрунтів Полтавської області на межі прокладання нафтопроводів

Дата: 15.05.2018

Місце: Полтава

Виконав: [Signature]

Коректор: [Signature]

ІП: 3

Масштаб: 1:10000

Експериментальне дослідження аналізу сульфатів та окисно-відновного потенціалу ґрунтів

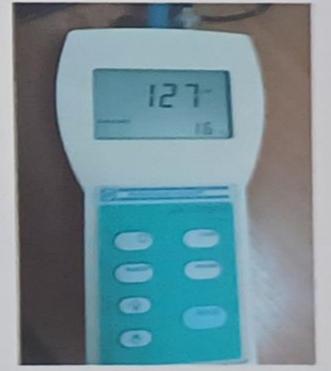
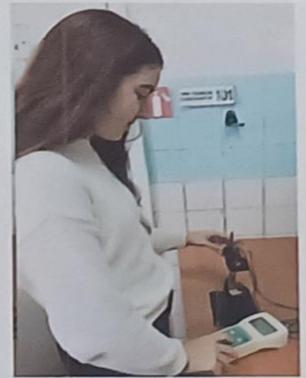
Вимірювання сульфатів

Дата	Торф (тепло)	Чорнозем (тепло)	Чорнозем Д (тепло)	Супісок (тепло)	Торф (холод)	Чорнозем (холод)	Чорнозем Д (холод)	Супісок (холод)
04.02.22	середнє	середнє	середнє	середнє	середнє	середнє	середнє	середнє
18.02.22	середнє	середнє	багато	середнє	багато	середнє	середнє	середнє
28.04.22	середнє	середнє	багато	середнє	багато	середнє	середнє	середнє
30.05.22	середнє	багато	середнє	багато	середнє	середнє	середнє	середнє
10.06.22	середнє	середнє	середнє	середнє	середнє	середнє	середнє	середнє
18.07.22	багато	мало	мало	мало	мало	мало	середнє	середнє
04.08.22	мало	мало	мало	мало	мало	мало	середнє	мало
26.08.22	мало	мало	мало	мало	мало	мало	мало	мало
14.09.22	мало	мало	мало	мало	мало	мало	мало	мало
30.09.22	помітно	помітно	помітно	помітно	помітно	помітно	помітно	помітно

Визначення у пробах водної витяжки наявності SO_4^{2-}



Визначення ОВП досліджуваних ґрунтів



Примітка: Визначення показників наявності сульфатів проводились для всіх сумішей 10 разів з різним проміжком часу, для визначення їх динаміки на протязі залягання сталевих пластин у досліджуваних ґрунтах.

Окисно-відновний потенціал (ОВП)

Дата	Торф (тепло)	Чорнозем (тепло)	Чорнозем Д (тепло)	Супісок (тепло)	Торф (холод)	Чорнозем (холод)	Чорнозем Д (холод)	Супісок (холод)
14.09.22	190	440	162	198	145	230	650	116
30.09.22	347	496	594	672	375	590	778	523

607-МТЗ 9979193 КР
 РАЙОНАЛЬНИЙ ЦЕНТР НАУКОВО-ДИСЛЕДЖУВАЛЬНИХ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РАБОТ
 БІОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПІСЬМЕ

№ 9

Оцінка біокорозійної активності ґрунтів для теплого періоду

Карта біокорозійної активності ґрунті для теплого періоду



Визначення біокорозійної активності для теплого періоду

Типи ґрунтів Полтавської області	Межі коливання питомого опору ґрунту, Ом*м	Приблизний питомий опір ґрунту обраний для розрахунків, Ом*м	Ka Теплий період
Дерново-слабопідзолисті	200-800	630	$1,02 \cdot 10^{-2}$
Ясно-сірі та сірі лісові	100-150	143	$7,9 \cdot 10^{-2}$
Темно-сірі опідзолені та чорноземи опідзолені	150-200	155	$7,26 \cdot 10^{-2}$
Чорноземи деградовані	110-200	135	$7,9 \cdot 10^{-2}$
Чорноземи типові	20-40	20	$56,44 \cdot 10^{-2}$
Чорноземи звичайні	10-15	10	$120,66 \cdot 10^{-2}$
Чорноземи солонцюваті	30-60	33	$31,14 \cdot 10^{-2}$
Лісночорноземні та лучні	25-75	34	$30,002 \cdot 10^{-2}$
Лісно-доломітні та доломітні	15-20	19	$59,8 \cdot 10^{-2}$
Торф'яно-доломітні та торфовища низинні	10-20	20	$56,44 \cdot 10^{-2}$
Дерновопереважно-оглеєні	15-20	19	$59,8 \cdot 10^{-2}$
Супіски	150-400	345	$2,76 \cdot 10^{-2}$

Ранжування біокорозійної активності ґрунтів за значенням Ka, $\cdot 10^{-2}$

Потенціюно агресивні	Ka < 30
Мало агресивні	30 - 60
Помітно агресивні	60 - 90
Агресивні	90 - 120
Дуже агресивні	120 > Ka

601-МТЗ 9979103 КР
РАЙОННА ПОЛТАВСЬКА ОБЛАСТЬ
ЗА ПІДКАЗНИМ БІОКОРОЗІЙНИМ АКТИВНОСТІ ґРУНТІВ
Оцінка біокорозійної активності ґрунті для теплого періоду
М.П. [Signature] [Stamp]

Оцінка біокорозійної активності ґрунтів для холодного періоду

Карта біокорозійної активності ґрунтів для холодного періоду

Визначення біокорозійної активності для холодного періоду



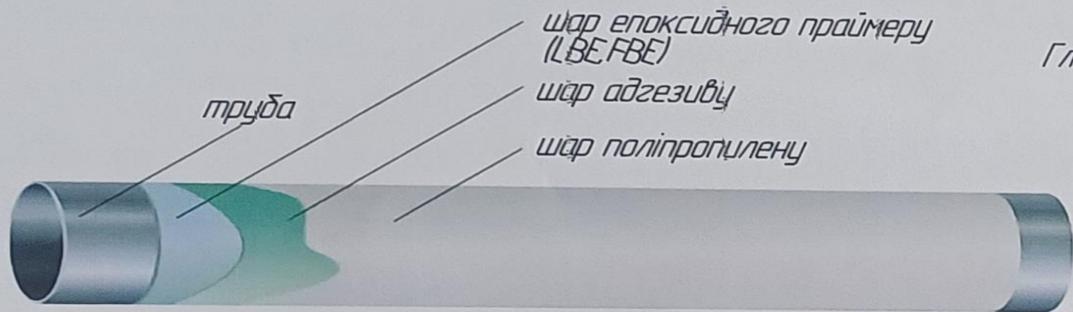
Типи ґрунтів Полтавської області	Межі коливання питомого опору ґрунту, Ом*м	Приблизний питомий опір ґрунту обраний для розрахунків, Ом*м	Ка
Дерново-слабопідзолисті	200-800	250	$4,189 \cdot 10^{-2}$
Ясно-сірі та сірі лісові	100-150	120	$9,56 \cdot 10^{-2}$
Темно-сірі, опідзолені та чорноземі, опідзолені	150-200	172	$6,47 \cdot 10^{-2}$
Чорноземі деградовані	110-200	164	$6,82 \cdot 10^{-2}$
Чорноземі типові	20-40	25	$4,360 \cdot 10^{-2}$
Чорноземі звичайні	10-15	12	$99,25 \cdot 10^{-2}$
Чорноземі сріпцюваті	30-60	42	$1,57 \cdot 10^{-2}$
Лічночорноземні та лічні	25-75	55	$4,89 \cdot 10^{-2}$
Лічно-долотні та долотні	15-20	14	$83,96 \cdot 10^{-2}$
Горфяно-долотні та торфовища низинні	10-20	12	$99,25 \cdot 10^{-2}$
Дернової перебажно-оглеєні	15-20	16	$72,5 \cdot 10^{-2}$
Супіски	150-400	234	$4,53 \cdot 10^{-2}$

Ранжування біокорозійної активності ґрунтів за значенням Ка, $\cdot 10^{-2}$	
Потенціально агресивні	Ка < 30
Мало агресивні	30 - 60
Помітно агресивні	60 - 90
Агресивні	90 - 120
Дуже агресивні	120 > Ка

601-МТЗ 9979103 КР
РАЙОННЕ ВАННЯ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ
ЗА ПОКАЗНИКОМ БІОКОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ ґРУНТІВ
ДЛЯ ХОЛОДНОГО ПЕРІОДУ

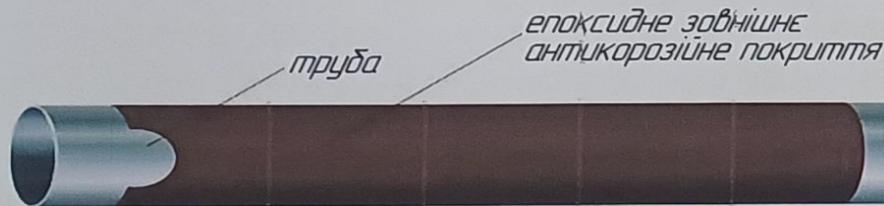
Рекомендовані методи захисту нафтопроводів від корозії

Переваги 3-х шарових покриттів на основі поліпропілену



- Висока ударна і механічна міцність покриття.
- Високий рівень антикорозійного захисту.
- Висока стійкість до температурного впливу до + 110 ° С.
- Високий ступінь адгезії до металу.
- Висока стійкість до зовнішніх агресивних середовищ.
- Збільшення терміну експлуатації трубопроводу.

Переваги ізоляції трубопроводів епоксидними матеріалами:



- Максимальний ступінь захисту труб із зовнішнім покриттям від корозії.
- Велика міцність (механічна і протиударна).
- Висока адгезія (зчеплення покриття з металевою стінкою труби).
- Стійкість до високим перепадів температур і УФ-випромінювання.
- Збільшення періоду експлуатації трубопроводу.

Карта небезпечних районів нафтопроводу

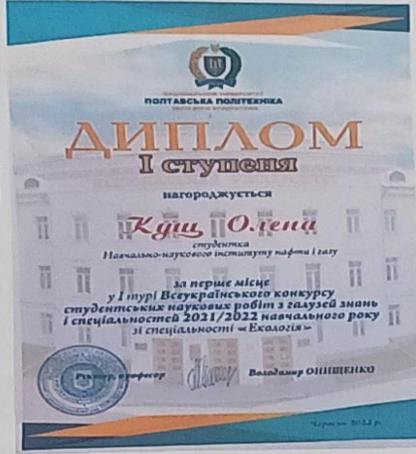


601-НТЗ 9979193 КР		РАЙОНУВАННЯ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	
ЗА ПІЛЛЯЖИМ ВИКОРИСТАННЯ АНТИКОРОЗИЙНИХ		РЕКОМЕНДОВАНІ МЕТОДИ ЗАХИСТУ НАФТОПРОВОДІВ ВІД КОРОЗІЇ	
№ документа	№ документа	№ документа	№ документа
КРМ	12	14	

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Наукові здобутки

Список наукових праць та доповідей



1. Переможець Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з освітньої спеціальності "ТВЛПТ", Диплом I ступеня, 2020-2021,
2. Ганошенко О.М., Куц О.Ю. Розроблення рекомендацій, спрямованих на зниження вразливості міст до теплового стресу (на прикладі м. Полтава) Збірка тез доповідей V спеціалізованого міжнародного Запорізького екологічного форуму. – 2021, С.82-83;
3. Всеукраїнський студентський професійний творчий конкурс проєктів з екологічного менеджменту, Диплом II ступеня, 2021.
4. Куц О.Ю., Ганошенко О.М. Моделювання потенційних небезпек при аварійних ситуаціях на нафтогазопроводах. Екологія, неекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: матеріали ІХ Міжнародної наукової конференції молодих вчених. Х: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2021. С.124-125.
5. Куц О.Ю., Ганошенко О.М. Аналіз виникнення біокорозії нафтогазопроводів. Збірник матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія Довкілля. Енергозбереження», присвяченої 203-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» 2021р. с.214-215
6. Переможець Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт зі спеціальності "Екологія", Диплом I ступеня, 2022
7. Степова О.В., Бондар О.В., Куц О.Ю., Степовий Д.Є. Дослідження біокорозійних процесів у ґрунтового середовища С.561-562 Збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції "Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022"
8. Куц О.Ю., Манюх Н.В. Встановлення потенційних небезпек при виливах нафти і нафтопродуктів з лінійної частини магістрального нафтопроводу. Сталый розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. VII Міжнародний молодіжний конгрес, 10-11 лютого 2022, Україна, Львів: Збірник матеріалів – Київ: Ярошенко Я. В., 2022, С.268

601-НТЗ 9979103 КР

РАЙОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІКОЛОГІЧНИЙ ЗАПОРІЗЬКИЙ ФОРУМ		Дата	Місяць	Рік
№	Тема	№	Місяць	Рік
1	Апробація результатів дослідження	1	В	22
Науковий здобуток, список наукових праць та доповідей		№	Місяць	Рік

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Об'єкт дослідження потребує постійного моніторингу, оскільки аварійні витіки нафти та нафтопродуктів завдають значної шкоди навколишньому середовищу. Тому надійна робота трубопроводів є необхідною умовою їх експлуатації, а питання впливу біокорозійних процесів у ґрунтах на поверхню нафтопроводів є надзвичайно актуальною проблемою.
2. Проведено аналіз наявних у ґрунтового середовищі бактерій, що впливають на біокорозійні процеси.
3. Фактори впливу на біокорозію ґрунтів рН та $E_h(OBП)$ у поєднанні з визначенням коефіцієнтом корозійної активності (K_a), надалі можливість оцінити ступень корозійної агресивності.
4. Виділено потенційно-небезпечні райони на межі зміни типів ґрунтів. Визначено та проаналізовано рН та ОБП, що впливає на корозійну активність ґрунтів. Саме на таких ділянках ймовірність аварійних ситуацій збільшується.
5. Виявлено наявність сульфатредуючих бактерій та визначено коефіцієнт корозійної активності типів ґрунтів Полтавської області експрес методикою.
6. Проаналізувавши отримані математичні моделі, визначили, що найбільш впливовим фактором на швидкість корозії є рН ґрунту.
7. Побудовано карти біокорозійної активності ґрунтів Полтавської області та визначено потенційно-небезпечні ділянки в межах прокладання нафтопроводів.

		601-МТЗ 9979193 КР	
		РАЙОНУВАННЯ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ ЗА ТИПОМ БІОКОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ	
Масштаб	1:1000	Дата	2020
Масштаб	1:1000	Місце	Заозільні висхідки
Масштаб	1:1000	Місце	Заозільні висхідки
Масштаб	1:1000	Місце	Заозільні висхідки