

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ДЯДІН ДМИТРО ВОЛОДИМИРОВИЧ



УДК 502.175:[556.3/.5:622.323/.324](043.3)

**МОНІТОРИНГ ПІДЗЕМНИХ І ПОВЕРХНЕВИХ ВОД
НА ОБ'ЄКТАХ НАФТОГАЗОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми – 2019

Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису.

Робота виконана на кафедрі інженерної екології міст Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Стольберг Фелікс Володимирович,
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри інженерної екології міст,
м. Харків

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Адаменко Ярослав Олегович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу Міністерства освіти і
науки України, завідувач кафедри екології,
м. Івано-Франківськ;

доктор технічних наук, доцент
Сотник Микола Іванович,
Сумський державний університет Міністерства
освіти і науки України,
доцент кафедри прикладної гідроаеромеханіки,
м. Суми.

Захист дисертації відбудеться 6 грудня 2019 р. об 11 год 00 хв на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 в Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд. 204.

Із дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, та на сайті спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 за електронною адресою: <http://sumdu.edu.ua/ukr/scientific/scientific-council/32-scientific/scientificcouncil/5367.html>.

Автореферат розісланий 04 листопада 2019 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04

І. Ю. Аблеєва

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Нафтогазовидобувна діяльність чинить значне техногенне навантаження на компоненти довкілля й належить до переліку екологічно небезпечних видів діяльності як в Україні, так і у світі. Масштабність впливу на довкілля та високий ступінь екологічної небезпеки процесів видобування, транспортування та перероблення вуглеводневої сировини зумовлюють необхідність розроблення та впровадження науково обґрунтованих систем спостережень за станом довкілля на території родовищ. Беручи до уваги, що терміни освоєння кожного родовища становлять від 10 до 30 років, а іноді й більше, необхідно застосовувати системи регулярних спостережень, які б уможливили виявлення тенденцій змінювання та прогнозування стану довкілля, тобто системи екологічного моніторингу.

Аналіз наукових досліджень (М. Ю. Журавель та ін., 2001; Я. О. Адаменко та ін., 2017) свідчить, що найуразливішим компонентом довкілля, який найбільше зазнає негативного впливу з боку нафтогазовидобувної діяльності, є поверхневі та підземні води внаслідок їхньої розповсюженості, динамічності, ресурсної цінності та виняткової важливості екосистемних функцій. Проблема охорони та збереження якості водних ресурсів особливо актуальна в Східному нафтогазоносному регіоні лівобережної України, де зосереджено понад 70 % запасів вуглеводневої сировини країни.

Чинне природоохоронне законодавство України (Правила розробки родовищ нафти і газу, Водний Кодекс України) зобов'язує нафтогазовидобувні підприємства проводити екологічний моніторинг на території своєї діяльності, зокрема спостереження за станом підземних і поверхневих вод, хоча аспекти організації, порядку проведення та методична база такого моніторингу розроблені недостатньо. Зокрема, відсутні настанови щодо проведення моніторингу вод на локальному рівні, однозначні усталені настанови щодо переліку показників-індикаторів забруднення від нафтогазовидобувної діяльності, регламенту та частоти спостережень, принципів розміщення локальних спостережних мереж, методів оброблення та інтерпретації результатів моніторингу, що обумовлює актуальність дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Основні положення дисертаційної роботи щодо постановки завдання розроблення системи локального моніторингу вод відповідають положенням Законодавства України щодо охорони водного середовища та моніторингу довкілля. Основою дисертаційної роботи є матеріали науково-дослідних робіт, що виконувались упродовж 2016–2018 рр. відповідно до тематичного плану кафедри інженерної екології міст Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова, пов'язаних із тематиками «Наукові засади оцінювання функціональної стійкості компонентів ландшафтів територій нафтогазовидобування» (номер держреєстрації 0118U007626), «Методологічні засади відновлення та захисту міських територій» (номер держреєстрації 0112U001033), «Екологічно сталий розвиток урбосистем в контексті європейської інтеграції України» (номер держреєстрації 0117U000679), “River water

quality assessment in the transboundary Russia/Ukraine water basin of the Seversky Donets River using environmental isotopic methods” / «Оцінка якості поверхневих вод в межах трансграничного басейну р. Сіверський Донець з використанням ізотопних методів» (НДР № 17881), у яких автор брав участь як виконавець, “Evaluation of human impacts on water balance and nutrients dynamics in transboundary Russia/Ukraine river basin” / «Оцінка антропогенного впливу на водний баланс та динаміку поживних речовин в межах трансграничного басейну р. Сіверський Донець» (НДР № 18409), у якій автор брав участь як відповідальний виконавець, а також матеріали науково-дослідних робіт ТОВ «СВНЦ Інтелект-сервіс ЛТД», які виконувалися за безпосередньої участі автора в період 2006–2018 р. р. (довідка № 01-20/11 від 20.11.2018).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розроблення науково-методичних засад локального моніторингу підземних і поверхневих вод на території діяльності нафтогазовидобувних підприємств на прикладі Східного нафтогазоносного басейну України.

Для досягнення зазначеної мети поставлено та вирішено такі завдання:

- проаналізувати чинне екологічне законодавче та нормативно-методичне забезпечення моніторингу гідросфери на території діяльності нафтогазовидобувних об’єктів;

- дослідити вплив нафтогазовидобувних об’єктів на гідросферу та визначити пріоритетні чинники забруднення підземних і поверхневих вод;

- установити надійні індикатори забруднення гідросфери, зумовлені діяльністю нафтогазовидобувних об’єктів;

- обґрунтувати методологію проведення локального моніторингу гідросфери на території діяльності нафтогазовидобувних підприємств;

- розробити інформаційно-програмний комплекс для впорядкування, зберігання та оброблення даних локального моніторингу гідросфери на об’єктах нафтогазопромислового комплексу.

Об’єкт дослідження – техногенний вплив нафтогазовидобувних об’єктів Східного басейну нафтогазоносного регіону України на підземні та поверхневі води.

Предмет дослідження – показники якості підземних і поверхневих вод та теоретико-методичні засади моніторингу гідросфери на об’єктах нафтогазовидобувного комплексу.

Методи дослідження. Дослідження проводилися з використанням емпіричних методів: польові обстеження, вимірювання фізико-хімічних параметрів природних вод (температура, питома електропровідність, водневий показник, окислювально-відновний потенціал) на місці потенціометричним методом, лабораторні дослідження складу природних вод (уміст основних іонів, нафтопродуктів, стронцію, літію, сухий залишок) за стандартизованими методиками; вимірювання рівнів підземних вод; для оброблення та інтерпретації результатів застосовувалися аналітичні методи досліджень – системний аналіз, методи описової статистики, картографічне моделювання, геопросторовий аналіз, синтез, формалізація.

Наукова новизна одержаних автором результатів.

– уперше для встановлення характеру техногенного впливу нафтогазовидобувного комплексу на складники гідросфери на єдиній теоретичній та методичній основі проведено комплексне вивчення якості підземних і поверхневих вод та виявлено осередки їхнього забруднення компонентами супутніх пластових вод (далі – СПВ) на родовищах Східного нафтогазоносного басейну України;

– уперше визначено кількісні та якісні характеристики осередків забруднення підземних і поверхневих вод компонентами СПВ, доведено пріоритетність СПВ як чинника екологічної небезпеки для гідросфери досліджуваної території та встановлено закономірності впливу компонентів СПВ на якісний склад підземних і поверхневих вод, що виявляються у збільшенні концентрації хлоридів, натрію, стронцію та літію;

– уперше з метою достовірної ідентифікації забруднення підземних і поверхневих вод компонентами СПВ науково обґрунтовано та застосовано комплекс індикаторів на основі гідрохімічних та ізотопних показників;

– уперше розроблено науково-методичні засади та систему інформаційного забезпечення локального моніторингу гідросфери на територіях нафтогазовидобутку, що складається із комплексу бази даних та геоінформаційної системи для підвищення ефективності контролю якості гідросфери та об'єктивності прийняття управлінських рішень щодо забезпечення вимог екологічної безпеки;

– набули подальшого розвитку методи оцінювання техногенного впливу нафтогазовидобувної діяльності на складники гідросфери та методи екологічного моніторингу нафтогазовидобувних територій.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені у роботі науково-методичні засади моніторингу підземних і поверхневих вод були покладені в основу систем екологічного моніторингу, запроєктованих і впроваджених ТОВ «СВНЦ Інтелект-сервіс ЛТД» на території діяльності низки нафтогазовидобувних підприємств Східної України (акт впровадження від 01.09.2017, довідка про впровадження від 20.11.2018).

На основі положень, розроблених у роботі, створено режимну мережу гідрохімічного моніторингу та розроблено базу даних із результатами багаторічних спостережень за станом підземних і поверхневих вод на території діяльності Спільного підприємства «Полтавська газонафтова компанія» (Полтавська область) (акти впровадження від 20.02.2017 та 03.07.2018).

Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес у Харківському національному університеті міського господарства імені О. М. Бекетова на кафедрі інженерної екології міст під час викладання дисциплін «Екологічна геологія» для студентів спеціальності 101 – Екологія, «Технології захисту геологічного середовища» для студентів спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища та на кафедрі теплових і газових систем під час викладання дисципліни «Основи екології в нафтогазовій галузі» для студентів спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології (акт впровадження від 05.09.2018).

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні основних ідей та положень, що становлять наукову новизну дисертаційної роботи, у визначенні та

обґрунтуванні мети й завдань дослідження. В основу дисертаційної роботи покладено результати багаторічних науково-дослідних робіт із моніторингу підземних і поверхневих вод, комплексного екологічного моніторингу, оцінки впливу на довкілля на родовищах нафти й газу Полтавської, Харківської, Сумської, Чернігівської, Дніпропетровської областей України колективу ТОВ «СВНЦ Інтеллект-сервіс ЛТД», у яких автор брав участь у 2001–2018 роках. Здобувачем особисто проводилися польові дослідження підземних і поверхневих водних об'єктів на родовищах, відбирання проб для лабораторного аналізу, інтерпретація результатів моніторингу, складання звітної документації та картографічного матеріалу, представлення результатів моніторингу на громадських обговореннях. Безпосередньо автором були проведені систематизація, математична обробка та аналіз даних багаторічних гідрохімічних спостережень, обґрунтування показників моніторингу, узагальнення організаційних і науково-методичних засад здійснення моніторингу.

Вибір теми дисертаційної роботи, постановка завдань дослідження, обговорення одержаних результатів були проведені разом із науковим керівником.

Основні положення, висновки та рекомендації для практичного впровадження на виробництві сформульовано автором особисто. Публікації за темою дисертації підготовлено самостійно та у співавторстві. Зі спільних наукових публікацій у дисертаційній роботі автором використано тільки власні ідеї та отримані результати наукових досліджень. Внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві, наведений у списку праць за темою дисертації.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення й результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на наукових конференціях і науково-практичних семінарах: науково-практичній конференції «Безпека середовища життєдіяльності людини: екологічні, медичні та економічні аспекти» (м. Ялта, 26–30 вересня 2011 р.); 11th Kovacs Colloquium “Hydrological Sciences and Water Security: Past, Present and Future” (Paris, France, 16–17 June 2014); International Symposium on Isotope Hydrology: Revisiting Foundations and Exploring Frontiers (Vienna, Austria, 11–15 May 2015); XVII–XVIII міжнародній науково-практичній конференції «Современные научные исследования: инновации и опыт» (м. Єкатеринбург, Росія, 04–05 грудня 2015 р.); ГІС-Форумі 2016 (м. Харків, ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 16–18 березня 2016 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Екогеофорум-2017. Актуальні проблеми та інновації» (м. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 22–25 березня 2017 р.); European Geosciences Union General Assembly 2017 (Vienna, Austria, 23–28 April 2017); X міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки» (м. Полтава, ПНТУ ім. Юрія Кондратюка, 6–8 грудня 2017 р.); Science-policy seminar “Instruments of EU environmental policy for Ukraine” (м. Харків, ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 20 квітня 2018 р.); Global Symposium on Soil Pollution (Rome, Italy, 2–4 May 2018); VI науково-методичному семінарі «ГІС і заповідні території» (м. Краснокутськ, НПП Слобожанський, 29 червня – 02 липня 2018 р.); XII Всеукраїнській студентській науково-технічній конференції «Сталий розвиток міст» (м. Харків, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 24 квітня 2019 р.).

Результати досліджень також доповідалися та обговорювалися на науково-практичних галузевих семінарах- нарадах «Охорона праці, екологічна, пожежна та промислова безпека в нафтогазовій галузі України» НАК «Нафтогаз України» в м. Яремче, Івано-Франківська область 05–09 грудня 2016 р. (тема доповіді «Науково-технічні засади моніторингу підземних і поверхневих вод на об'єктах нафтогазової галузі») та 11–15 грудня 2017 р. (теми доповідей «Оцінка впливу на довкілля технологічних процесів гідророзриву пласта», «Особливості представлення екологічної інформації для проведення громадських слухань»).

Публікації. Результати дисертаційного дослідження опубліковано в 23 наукових працях, зокрема 11 статей, із яких 7 – у наукових фахових виданнях із переліку МОН України з технічних наук, 1 – у наукових фахових виданнях із переліку МОН України з біологічних наук, 3 у наукових виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних Scopus і Web of Science; 12 тез доповідей у матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій, із яких 1 індексується БД Scopus і Web of Science.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних джерел, 8 додатків. Загальний обсяг роботи становить 224 сторінки, з яких 159 сторінок основного тексту. Дисертаційна робота містить 35 рисунків, 29 таблиць за текстом, список використаних джерел у кількості 199 найменувань – на 23 сторінках. Додатки розміщені на 23 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** подано загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовані мета та основні завдання дослідження, визначено наукову новизну й практичне значення одержаних результатів, подано відомості про особистий внесок здобувача та апробацію результатів роботи.

У **першому розділі** розглянуто актуальність, сучасний стан досліджень щодо впливу нафтогазовидобувної діяльності на підземні та поверхневі води, проаналізовано правові передумови та чинні нормативно-методичні засади організації моніторингу вод на ділянках нафтогазопромислових об'єктів, встановлено відсутність системних підходів до проведення моніторингу та доведено необхідність їхнього розроблення.

У найбільшому в Україні Східному нафтогазоносному басейні станом на 2018 рік діють спеціальні дозволи на видобування, геологічне вивчення та дослідно-промислову розробку вуглеводнів на 260 ділянках надр загальною площею близько 30 тис. км² на територіях Полтавської, Сумської, Харківської і, меншою мірою, Чернігівської, Дніпропетровської, Луганської та Донецької областей. Нафтогазові родовища Східного басейну розташовані на водозбірних площах притоків Дніпра і р. Сіверський Донець, які є головними водними артеріями Східної України, мають важливі екосистемні функції і водогосподарську цінність. Просторовий аналіз доводить, що понад 50 родовищ басейну повністю або частково містять у своїх межах об'єкти природно-заповідного фонду (далі – ПЗФ), в яких охороняються водні екосистеми. Крім того, регіон вирізняється значними експлуатаційними

запасами прісних підземних вод у комплексі водоносних горизонтів від четвертинного до верхньоюрського віку до глибини 1100 м.

Дослідження впливу процесів нафтогазовидобування на стан і якість гідросфери активно проводяться майже в усіх нафтогазовидобувних регіонах світу. На території України ці питання в різних аспектах розглянуті в роботах, О. М. Адаменка (1998, 2001), Я. О. Адаменка (2010, 2017), Г. І. Рудька (2001, 2017), Я. М. Семчука (2006, 2009), М. Ю. Журавля (1996, 1998, 1999, 2001, 2009, 2016), О. М. Васильєва (1997, 1999, 2001), П. В. Клочка (1999, 2001), Л. Д. Пляцука (2017), П. Г. Дригулича (2008), А. В. Пукіша (2008), В. І. Лялька (2014), В. Г. Суярка (2010), Є. О. Яковлева (2013, 2014), В. В. Яковлева (2013) та інших дослідників. Приклади досліджень із світової практики вивчені у закордонних публікаціях Reiten J. (1993), Hudak P. (2001), Yusta-García R. (2017), Whittemore D. (2007), Kondash A. J. (2017), Rosenblum J. (2017), Osselin F. (2018), Torres L. (2016), Vengosh A. (2014, 2015) та інших фахівців.

У наукових публікаціях питання забруднення підземних і поверхневих вод неорганічними компонентами СПВ та технологічних рідин розкрито обмежено, увагу зосереджено здебільшого на родовищах Західного басейну (Прикарпаття), тоді як Східний басейн переважно залишається поза увагою.

Високий ступінь екологічної небезпеки нафтогазовидобувної діяльності, підвищена вразливість водних ресурсів і водних екосистем у східних регіонах України зумовлюють необхідність здійснення моніторингу підземних і поверхневих вод на нафтогазових родовищах. Низкою законодавчих і нормативних документів України на надрокористувачів покладається обов'язок проводити екологічний моніторинг на території своєї діяльності, облаштовувати спостережні мережі та здійснювати контроль стану підземних і поверхневих вод. При цьому, методична база організації та проведення локального моніторингу гідросфери на території нафтогазових родовищ України практично відсутня, що зумовлює доцільність її розроблення.

У другому розділі охарактеризовано об'єкти й методи дослідження. Подано стислий опис гідрологічних умов території Східного нафтогазоносного басейну, яка належить до водозбірного басейну Дніпра, його середньої лівобережної частини, та, частково басейну Дону в складі басейну р. Сіверський Донець. Охарактеризовано гідрогеологічні умови регіону, які включають просторові, динамічні й гідрохімічні особливості водоносних горизонтів і комплексів у відкладах четвертинної, неогенової, палеогенової систем, що вміщують прісні й слабо солонуваті підземні води переважно зони активного водообміну та активно використовуються для водопостачання на досліджуваній території.

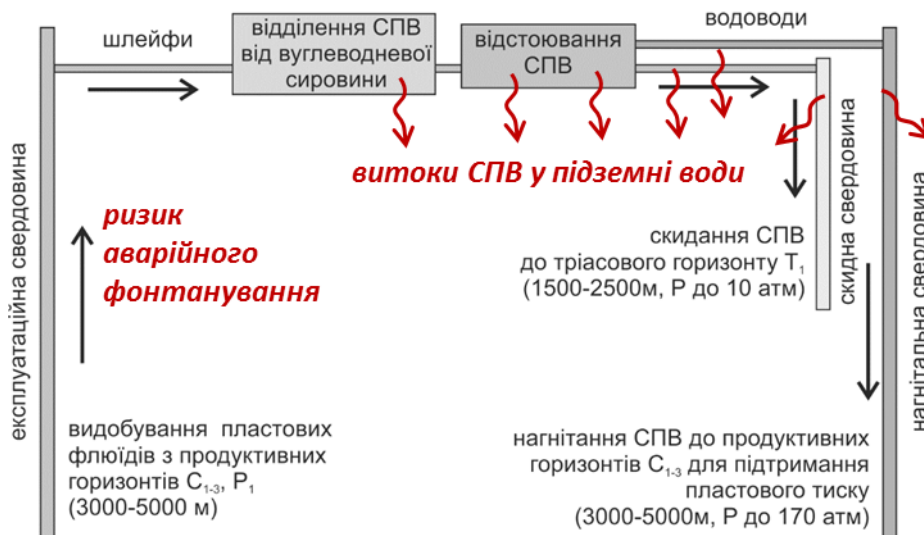
Об'єктами дослідження стали підземні та поверхневі води на родовищах Східного нафтогазоносного басейну, на яких проводили багаторічні спостереження у 2006–2018 роках. Наведено склад бази даних із результатами польових і лабораторних вимірювань якісних показників вод, яка містить 9 774 проби із 52 досліджених родовищ. До складу досліджуваних пунктів моніторингу входили спостережні свердловини, обладнані на перший або другий від поверхні водоносні горизонти, артезіанські водозабірні свердловини централізованого водопостачання,

колодязі громадського й індивідуального користування, природні джерела та поверхневі водні об'єкти.

Дослідження стану підземних і поверхневих вод на родовищах проводили щоквартально. На місці вимірювали фізико-хімічні показники – температуру води (°C), водневий показник рН (од.), питому електропровідність (мкС/см), окисно-відновлювальний потенціал (мВ) – потенціометричним методом за допомогою відкаліброваних портативних тестерів Hanna Instruments HI-98130 Combo, HI-98121, ULAB SX-751. Аналітичні вимірювання у воді концентрацій іонів (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Sr^{2+} , Li^+), нафтопродуктів, величини сухого залишку здійснювали в атестованій лабораторії за стандартними методиками. Ізотопний склад природних вод ($\delta^{18}\text{O}-\text{H}_2\text{O}$, $\delta^2\text{H}-\text{H}_2\text{O}$) вимірювали в Ізотопній лабораторії МАГАТЕ (м. Відень, Австрія) методом лазерної спектроскопії.

Третій розділ присвячено аналізу джерел та видів забруднення природних вод від об'єктів нафтогазовидобування.

У спектрі можливих джерел негативного впливу нафтогазовидобування на гідросферу найбільшу небезпеку забруднення водних об'єктів становлять системи поводження з супутніми пластовими водами (далі – СПВ), які видобуваються у суміші з вуглеводневою продукцією, транспортуються на споруди підготовки, де відбувається їх сепарація від вуглеводнів, після чого повертаються у надра через поглинальні свердловини до виснажених покладів або до горизонтів із високомінералізованими підземними водами. На поверхні землі ці системи є розгалуженими, а відстані, на які транспортуються СПВ, становлять кілька, іноді десятки кілометрів. Таким чином, на родовищі фактично формується природно-техногенна система висхідних, латеральних та низхідних потоків забруднювальних речовин із високим ступенем екологічної небезпеки (рисунк 1).



Рисунк 1 – Концептуальна схема системи потоків СПВ на родовищі

Згідно із загальноприйнятою багаторічною практикою на родовищах Східного басейну СПВ скидають до тріасової піщаної товщі на глибині 1500–2000 м, яка надійно перекрита зверху та знизу потужними товщами водотривких глин і містить природно солоні підземні води з мінералізацією 10–130 г/дм³. У разі застосування системи підтримання пластового тиску СПВ закачують у виснажені продуктивні

горизонти, зазвичай, кам'яновугільних покладів, на глибині 3 000–5 000 м під значно більшим тиском (до 170 атм), що спричиняє більші ризики пориву та витoku СПВ. Крім того, СПВ мають високу хімічну агресивність і здатність до корозії обладнання, що додатково підвищує ризики виникнення поривів на трубопроводах.

У Східному басейні СПВ приурочені переважно до пісковиків кам'яновугільної системи й нижньопермського відділу на глибині 2 000–4 000 м, які належать до нижнього гідрогеологічного поверху. Літературні дані та результати проведених досліджень свідчать, що СПВ представлені високомінералізованими розсолами з мінералізацією 30–300 г/дм³, які мають хлоридний кальцієво-натрієвий склад і містять низку мікроелементів у високих концентраціях – стронцій, літій, бор, бром, йод та інші. Такий склад обумовлений їхнім генезисом – захороненням давніх морських вод у піщано-глинистих відкладах із подальшою трансформацією в процесі осадового діагенезу. За вмістом стабільних важких ізотопів (²H та ¹⁸O) пластові води здебільшого близькі до сучасних океанічних вод, що підтверджує їхнє седиментогенне походження внаслідок поховання морських вод в осадових товщах. Вони істотно вирізняються важчим ізотопним складом (середній вміст $\delta^{18}\text{O}$ -1,9 ‰, $\delta^2\text{H}$ -31,4 ‰) на відміну від підземних вод зони активного водообміну ($\delta^{18}\text{O}$ -11,4 ‰, $\delta^2\text{H}$ -90,7 ‰), що забезпечує інформативність цього показника для виявлення СПВ у приповерхневих водоносних горизонтах і поверхневих водах. Під час видобування СПВ утворюють суміш із рідкими та газоподібними вуглеводнями (пластові флюїди), але й після сепарації в їхньому складі присутні нафтопродукти як в розчиненій формі, так і в формі емульсії та плівки на поверхні.

Таким чином, екологічна небезпека СПВ обумовлена надзвичайно високими концентраціями рухомих у водному середовищі забрудників, які не властиві поверхневим водам і підземним водам зони активного водообміну на території України. Вміст у СПВ таких сполук, як Cl^- , Na^+ , Sr^{2+} , Li^+ тощо, перевищують встановлені ГДК для питних вод і фонові значення в прісних природних водних об'єктах у сотні разів. Це означає, що навіть незначна кількість СПВ у разі потрапляння в прісні підземні або поверхневі води, істотно змінює їхній хімічний склад і загрожує здоров'ю водоспоживачів, а також функціонуванню водних екосистем.

Четвертий розділ містить аналіз еколого-технологічних умов формування забруднених вод на прикладі окремих нафтогазових родовищ Східного басейну.

Результати гідрохімічного моніторингу, проведеного за участю автора на родовищах Східного нафтогазоносного басейну, виявили ділянки забруднення підземних і поверхневих вод різного рівня. Установлено, що рівень забруднення природних вод варіюється в межах родовищ у діапазоні від 1–10 ГДК до 100 ГДК основних забруднювальних речовин. Найзабрудненіші ділянки належать до систем відкритого підготування вуглеводневої продукції – земляних ємностей для зберігання та відстоювання СПВ і обводненої вуглеводневої продукції. На прикладі Качанівського та Глинсько-Розбишівського родовищ показано, що, незважаючи на використання глинистих протифільтраційних екранів, на таких спорудах високомінералізовані води фільтруються до першого від поверхні водоносного горизонту. На цих ділянках зафіксовані максимальні рівні забруднення – близько

100 ГДК за вмістом Cl^- , Na^+ , Sr^{2+} , Li^+ та величиною мінералізації води (група А на рисунку 2).

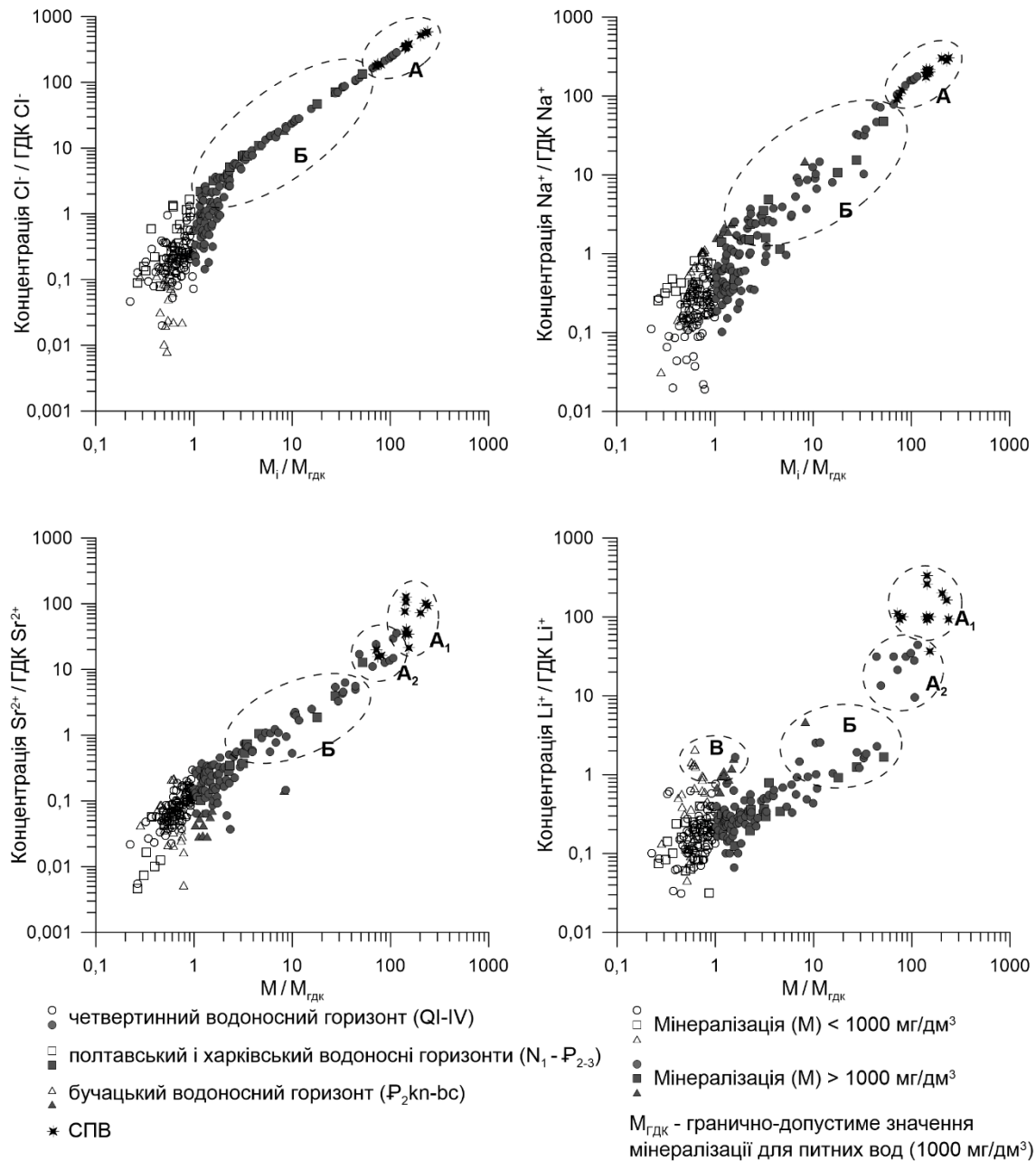


Рисунок 2 – Розподіл перевищення ГДК компонентів-забрудників у підземних водах на досліджених родовищах (умовні позначення А, Б і В див. у тексті)

Дещо менші за рівнями забруднення ділянки приурочені до скидних свердловин і водоводів систем повернення СПВ у надра та підтримання пластового тиску (далі – ППТ) (група Б на рисунку 2). На прикладі Качанівського, Глинсько-Розбишівського, Анастасівського та Бугруватівського родовищ показано, що рівні забруднення підземних і поверхневих вод унаслідок пориву обладнання й витоків СПВ сягають 10–100 ГДК за вмістом Cl^- , Na^+ , Sr^{2+} , Li^+ , величиною мінералізації та загальною жорсткості.

Аналіз розподілу досліджених показників у водах різних типів виявив регіональні особливості хімічного складу різних водоносних горизонтів та поверхневих вод (група В на рисунку 2), що має важливе значення для інтерпретації

результатів спостережень під час здійснення подальшого гідрохімічного моніторингу в регіоні.

Якісний склад першого від поверхні водоносного горизонту виявляється строкатим як у межах одного родовища, так і в регіональному плані. Наявність ознак забруднень із сторонніх джерел, наприклад сільськогосподарського та побутового походження (NO_3^- , K^+), свідчить про значну комплексність і різноманітність факторів, що визначають якісний стан ґрунтових вод. На фоні забруднень зі сторонніх джерел важко виявити наявність і внесок забруднення від нафтогазової діяльності, якщо воно не пов'язане з нафтопродуктами. У таких умовах хлориди і натрій, які є основними іонами СПВ, можуть надходити до ґрунтових вод у складі інших антропогенних джерел – витоків побутових стічних вод, забрудненого поверхневого стоку.

Неглибокі міжпластові водоносні горизонти – неогеновий, харківський – також характеризуються відносно строкатим складом, хоча й у меншому ступені, унаслідок невитриманості перекриваючих їх водотривів та інтенсивного зв'язку з поверхнею землі й ґрунтовими водами. Вони також зазнають комплексного впливу, у якому зазвичай складно розрізнити джерела, зокрема вплив витоків СПВ. У бучацькому водоносному горизонті на глибині близько 100 м ознаки забруднення від господарської та нафтогазовидобувної діяльності не виявлені, але він характеризується природним підвищеним вмістом літію, натрію й хлоридів, які властиві СПВ. Ці регіональні особливості необхідно брати до уваги під час організації моніторингу вод на нафтогазових родовищах, зважаючи на те, що бучацький горизонт експлуатується для водопостачання населення.

Поверхневі води за результатами досліджень вирізняються наймінливішим хімічним складом як у часі, так і у просторі, що пояснюється їх залежністю від сезонних коливань атмосферних опадів та незахищеністю від різноманітних джерел антропогенного забруднення. Результати моніторингу свідчать про те, що у поверхневих водах, які мають переважно гідрокарбонатний кальцієвий склад, особливо помітні ознаки забруднення компонентами СПВ – хлоридами, натрієм, стронцієм, літієм.

Для оцінювання зв'язку між глибокими водоносними горизонтами зони утрудненого водообміну з приповерхневими горизонтами зони активного водообміну використали коефіцієнт метаморфізації $r_{\text{Na}/r_{\text{Cl}}}$, який у досліджених водах широко варіювався – від 0,08 до 50 із тенденцією зниження зі зростанням мінералізації підземних вод (рисунок 3).

Найвищі значення $r_{\text{Na}/r_{\text{Cl}}}$ спостерігали в пробах підземних вод бучацького горизонту на ділянках, де цей горизонт має природний Cl^- - Na^+ склад і, очевидно, не зазнає забруднення від витоків СПВ.

Величина $r_{\text{Na}/r_{\text{Cl}}}$ для сильно забруднених ґрунтових вод на ділянках відкритих системи підготовки СПВ та поглинальних свердловин наближується до 0,8–1,0, що відповідає величині, властивій пластовим водам. Низькі значення коефіцієнта $r_{\text{Na}/r_{\text{Cl}}}$ свідчать про наявність хлоридного забруднення підземних вод, але висока частка кальцію в них може пояснюватися давністю термінів такого забруднення.

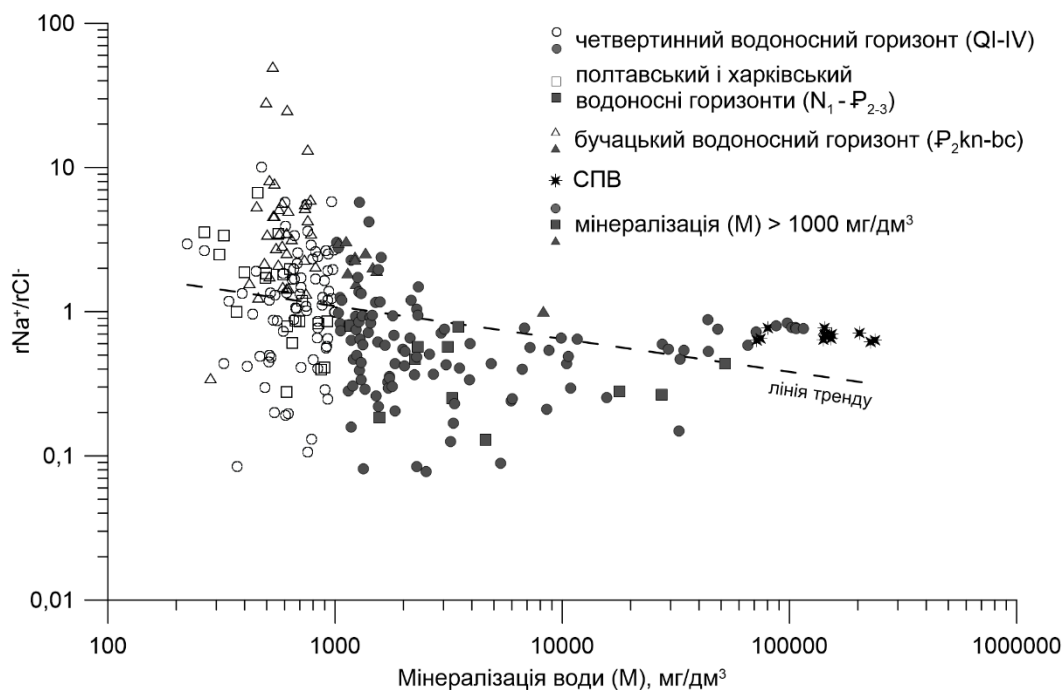


Рисунок 3 – Коефіцієнт метаморфізації підземних вод і СПВ на родовищах

Проведений аналіз довів, що пріоритетними джерелами забруднення природних вод на родовищах є системи відкритої підготовки СПВ, скидні свердловини й водоводи в місцях поривів. Основними ознаками забруднення є одночасне підвищення у воді вмісту Cl^- , Na^+ , Sr^{2+} , Li^+ та мінералізації.

У **п'ятому розділі** запропоновано науково-методичні підходи до організації та здійснення моніторингу підземних і поверхневих вод на територіях нафтогазовидобувної діяльності, що є основою методології моніторингу гідросфери на локальному рівні для гарантування екологічної безпеки території.

Головним завданням моніторингу підземних і поверхневих вод є виявлення та попередження негативного впливу нафтогазопромислових об'єктів на водні екосистеми та зниження якості питних вод. Специфіка моніторингу на об'єктах нафтогазопромислового комплексу включає такі аспекти:

1) підвищена екологічна небезпека, що полягає у використанні великих об'ємів забруднювальних речовин (вуглеводнів, мінералізованих пластових вод, хімічних реагентів для виготовлення бурових і технологічних розчинів) та високих ризиків аварійних викидів;

2) значна просторова розгалуженість нафтогазовидобувної інфраструктури в межах родовища, як за площею, так і з глибиною в надрах;

3) тривалість технологічних процесів освоєння кожного родовища в часі, яка становить десятки років.

Процедура здійснення моніторингу має складатися із двох основних стадій – розроблення проекту моніторингу та, власне, виконання спостережень за станом підземних і поверхневих вод. Ключові етапи першої стадії наведені на рисунку 4а.

Проведення безпосередньо моніторингових досліджень доцільно представити як циклічну процедуру (рисунок 4б), порядок та обсяги здійснення якої мають коректуватися щорічно відповідно до розвитку інфраструктури родовища.

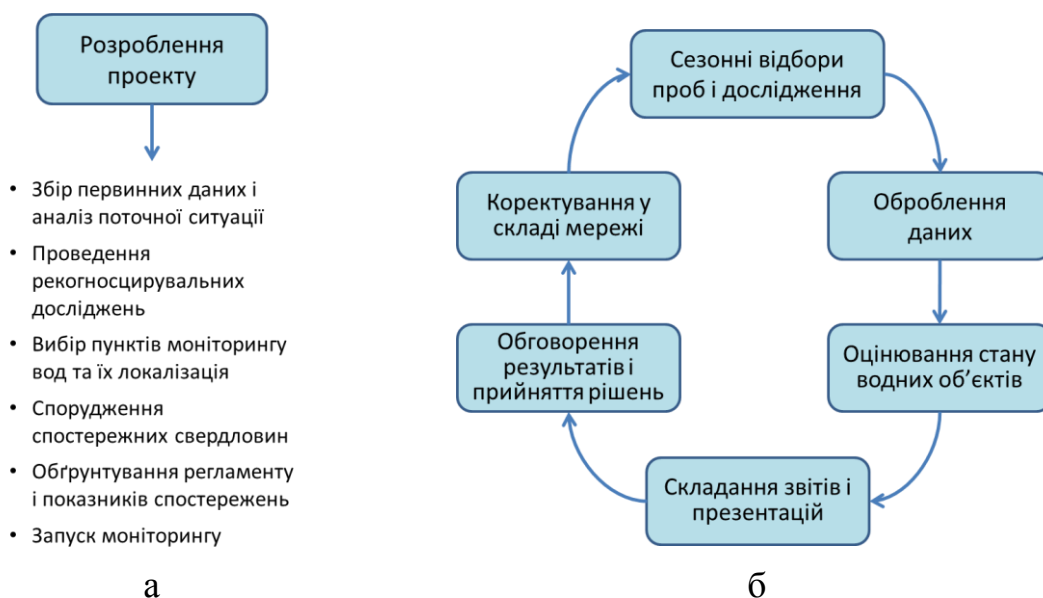


Рисунок 4 – Концептуальні схеми проектування (а) та щорічного циклу моніторингу підземних і поверхневих вод (б)

Виходячи з режиму живлення поверхневих і неглибоких підземних вод у Східному нафтогазоносному басейні рекомендовано оптимальну періодичність проведення спостережень – щоквартально. Це дасть змогу врахувати природні сезонні коливання у гідрохімічному та гідродинамічному режимах природних вод та зміни в режимах експлуатації родовища. Другий від поверхні та глибші водоносні горизонти мають відносно стабільний режим і значно повільніші темпи водообміну, тому їх достатньо досліджувати двічі на рік, якщо не спостерігаються аварійні викиди на родовищі. Це забезпечить скорочення витрат нафтогазовидобувного підприємства на проведення моніторингу і, водночас, не зменшить достовірність спостережень. У разі залпових аварійних викидів пластових флюїдів у водні об'єкти на цих ділянках необхідно здійснювати кризовий моніторинг, періодичність якого залежить від масштабів забруднення, але має становити не менше одного разу на місяць для підземних вод і частіше для поверхневих.

Найважливішим завданням, що вирішується на стадії проектування моніторингу, є визначення складу режимної мережі й місць розташування пунктів спостережень. Основними функціями локальної мережі пунктів моніторингу за станом гідросфери на території нафтогазопромислів вважаємо такі:

1) систематичне спостереження й своєчасне виявлення забруднення об'єктів гідросфери (особливо на ділянках водозаборів);

2) контроль за технічним станом об'єктів видобувної інфраструктури і виявлення порушень у режимі їхньої експлуатації (розгерметизація, витоки);

3) оцінювання масштабів забруднення, визначення просторово-часових характеристик і прогноз розповсюдження ореолу забруднених вод;

4) сигналізування про небезпеку для систем питного водопостачання для вжиття невідкладних заходів щодо недопущення споживання забрудненої води;

5) спостереження за процесами самоочищення забруднених підземних вод після ліквідації джерела забруднення (на ділянках після аварійного фонтанування свердловин, просочування залишків вуглеводнів у горизонтальних факельних амбарах, поривів водоводів СПВ тощо);

б) надання інформації щодо фонового стану підземних і поверхневих вод на ділянках, де відсутня промислова діяльність на період спостережень.

Основи локальних мереж спостереження за підземними водами мають скласти наявні водозабірні свердловини, які використовуються для організації господарсько-питного водопостачання, колодязі в сільських населених пунктах та джерела, тобто природні виходи підземних вод на поверхню землі (таблиця 1).

Таблиця 1 – Пункти спостережень та критерії їхнього вибору

Пункти спостережень	Контрольовані водні об'єкти	Критерії вибору пунктів (місць їхнього розташування)
Спеціальні спостережні свердловини	Перший або другий від поверхні водоносні горизонти	Безпосередньо на ділянках експлуатації НГВ об'єктів, насамперед екологічно небезпечних, нижче об'єктів за потоком
Водозабірні свердловини	Другий від поверхні та глибші водоносні горизонти	Усі наявні на території поточної видобувної діяльності
Колодязі	Перший від поверхні водоносний горизонт	Розташовані нижче НГВ об'єктів за потоком; регулярно використовувані; у належному технічному стані; доступні для відвідування
Джерела	Перший або другий від поверхні водоносний горизонт	Усі наявні на території поточної видобувної діяльності
Річки, струмки, ставки, озера	Поверхневі води	Створи, розташовані нижче НГВ об'єктів за потоком, за басейновим принципом

Керованим інструментом моніторингу є спеціальні спостережні свердловини, які мають споруджуватися безпосередньо на ділянках експлуатації видобувних об'єктів, насамперед екологічно найнебезпечніших – відкриті ємності для накопичення й зберігання пластових флюїдів, водоводи та насосні станції для перекачування пластової води, свердловини для повернення СПВ у надра (скидні, нагнітальні), свердловини на стадії буріння, свердловини в режимі операцій гідророзриву пласта, факельні амбари.

Ключовим фактором для розміщення всіх типів пунктів спостережень є розташування відносно напрямків і шляхів підземного або поверхневого потоку. Для поверхневих вод і першого від поверхні водоносного горизонту це завдання пропонується вирішувати з використанням геоінформаційних технологій, зокрема, на основі цифрової моделі рельєфу (далі – ЦМР) території. Масштаби площ ділянок спостереження є локальними, тому використання загальнодоступних глобальних ЦМР (SRTM, ASTER GDEM) у цьому разі є неефективним з причин їхньої низької розподільної здатності та спотворення висоти.

У роботі запропоновано алгоритм створення локальної ЦМР на основі векторизації рельєфу топографічних карт та побудови поверхні землі методом моделювання нерегулярної триангуляційної мережі (далі – TIN). Алгоритм включає такі послідовні етапи: 1) прив'язування растрових топокарт масштабу 1:50 000 і більше; 2) векторизація елементів рельєфу; 3) коректування ліній перегину поверхні (тальвеги, хребти) за даними дистанційного зондування Землі; 4) побудова триангуляційної мережі за відкоригованими векторними даними рельєфу;

5) перетворення TIN-поверхні на растр висот; 6) видалення помилкових знижень у растрі висот.

Створена таким чином ЦМР при просторовій розподільній здатності 5–10 м уможливить високоточне обчислення нахилів поверхні (градієнти потоку), визначення напрямків потоку та контурів водозбірних площ (зон живлення) на місцевості для розміщення пунктів моніторингу водних об'єктів. Ключовим серед перелічених є завдання оконтурювання водозбірних площ для обраних спостережних створів на водоймах чи водотоках. Це вирішується шляхом моделювання напрямків та акумуляції стоку на підставі різниці висот між сусідніми пікселями в ЦМР.

Беручи до уваги викладене вище, у роботі запропоновано алгоритм визначення місць розташування пунктів спостереження за станом поверхневих вод, який передбачає такі послідовні етапи: 1) перевірка вхідної ЦМР на відсутність помилок (застосування інструменту видалення внутрішніх замкнутих знижень у ЦМР); 2) побудова растру напрямків потоку (напрямки потоку кодуються залежно від співвідношення висот суміжних комірок растру); 3) побудова растру акумуляції стоку (кожна комірка вихідного растру отримує значення кількості комірок, розташованих вище неї за течією); 4) задання спостережних створів (використання класу точкових об'єктів із пунктами, попередньо визначеними в процесі рекогносцирувальних досліджень і зафіксованими за допомогою GPS); 5) побудова схеми водозбірних площ (територія досліджень розбивається на водозбірні площі кожного створу, отриманий растр конвертується у векторний формат – полігони).

Отриману за цим алгоритмом модель визначення водозбірних площ можна застосовувати й для першого від поверхні водоносного горизонту в умовах субгоризонтального залягання ґрунтових вод і їхнього розтікання у напрямках зниження рельєфу.

Надійні індикатори негативного впливу на природні води від нафтогазопромислових об'єктів і, зокрема, забруднення компонентами СПВ, мають відповідати викидам, бути відносно консервативними та доступними для визначення з достатньою точністю. Цим критеріям відповідає набір іонів Cl^- , Na^+ , Sr^{2+} , Li^+ , які містяться в СПВ у високих концентраціях, є рухомими у водному розчині та, здебільшого, невластиві зоні поверхневих вод і неглибоких підземних вод регіону. Вони мають бути підкріплені такими показниками, як аномально високі вміст Ca^{2+} , питома електропровідність та мінералізація води, які зростають зі збільшенням рівня забруднення вод компонентами СПВ.

За значенням електропровідності можна кількісно прогнозувати величину мінералізації води, тому в роботі було виконано статистичну обробку результатів багаторічних спостережень для встановлення відповідних коефіцієнтів перерахунку. Аналіз показав, що залежність електропровідності (Е) від мінералізації води (М) набуває більшої лінійності зі зростанням цих величин, що пояснюється більшою однорідністю іонного складу солоних вод (переважання Cl^- і Na^+). Розрахунки показали, що для досліджених родовищ співвідношення М (мг/дм^3) до Е (мкС/см) становить $0,71 \pm 0,21$ для поверхневих вод, $0,66 \pm 0,26$ для ґрунтових вод, $0,69 \pm 0,24$ для неглибоких міжпластових вод неогену і верхнього палеогену та $0,64 \pm 0,15$ для бучацького водоносного горизонту. Отримані коефіцієнти можуть

використовуватися для попередньої оцінки мінералізації води на етапі польових досліджень під час моніторингу на родовищах.

Результати аналізу СПВ та забруднених ними вод показали, що із розчинених у воді солей найбільшу інформативність мають вміст іонів Cl^- і Na^+ , які є основними макрокомпонентами у складі СПВ, та Sr^{2+} і Li^+ – рухомих мікрокомпонентів, що містяться у високих концентраціях у СПВ та, що важливо, невластиві прісним підземним і поверхневим водам регіону. Винятком є слабосолонуваті підземні води бучацького горизонту та, подекуди, харківського горизонту, в яких зафіксували природно підвищений вміст Cl^- , Na^+ і Li^+ . Крім того, на ділянках населених пунктів та прилеглих до них територій ці компоненти можуть надходити до водних об'єктів із сторонніх антропогенних джерел – витоків побутових стічних вод, забрудненого поверхневого стоку.

Отже, для об'єктивної ідентифікації забруднення природних вод від витоків СПВ необхідно використовувати всі зазначені вище компоненти комплексно. Одночасне підвищення концентрації щонайменше чотирьох іонів у складі води – Cl^- , Na^+ , Sr^{2+} , Li^+ , зафіксоване у часі відносно попередніх вимірювань у певній точці спостережень, або в просторі відносно фонових значень, дає змогу достовірно пов'язувати забруднення зі впливом СПВ.

Для підвищення надійності ідентифікації впливу СПВ на природні води, особливо у разі незначного забруднення, пропонується використовувати ізотопний склад вод – співвідношень важких і легких стабільних водних ізотопів водню й кисню у воді ($^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$). СПВ, як глибинні підземні води седиментогенного морського походження, характеризуються високим вмістом важких ізотопів. Наші дослідження у басейні р. Сіверський Донець показали, що підземні води зони активного водообміну (до глибини 30–40 м) та поверхневі води регіону за ізотопним складом значно відрізняються від глибоких підземних вод та СПВ зокрема (рисунок 5).

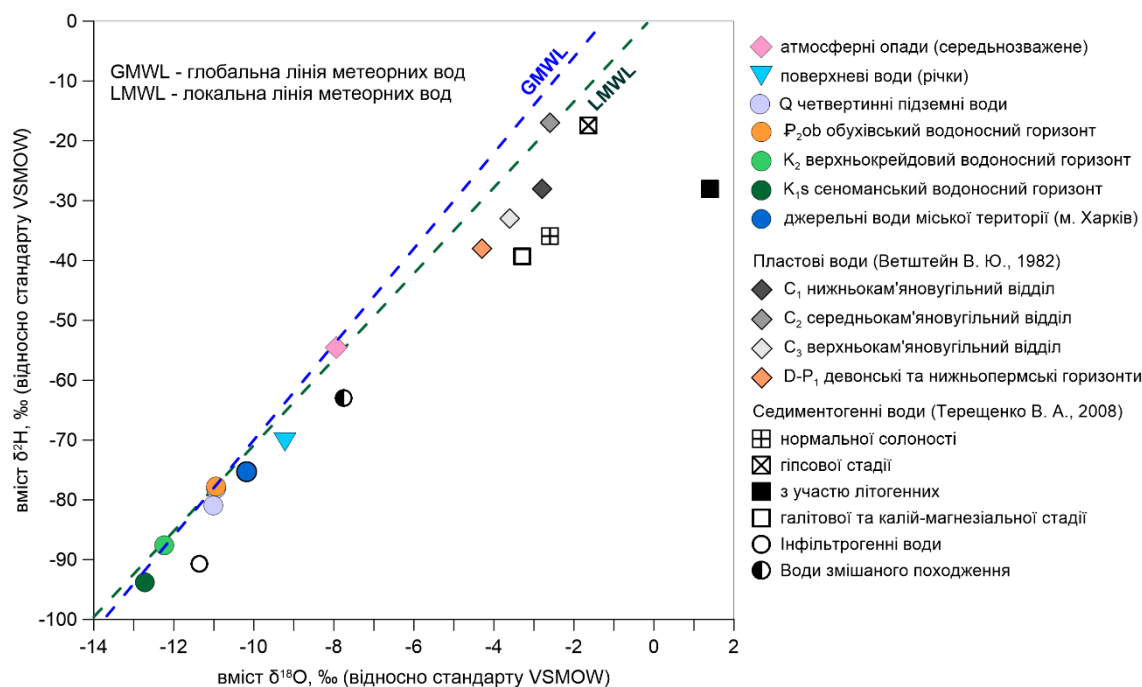


Рисунок 5 – Ізотопні характеристики поверхневих і підземних вод ($\delta^{18}\text{O}$ та $\delta^2\text{H}$ – вміст важких ізотопів кисню та водню відносно стандарту VSMOW)

Ізотопні співвідношення є надзвичайно консервативним показником, який змінюється фактично завдяки єдиному фактору – фракціонуванню легких і важких ізотопів під час фазових переходів (випаровування та конденсації води). Інфільтрогенні підземні води вирізняються відносним легким ізотопним складом, що відповідає опадам періоду активного інфільтраційного живлення, і в разі їхнього змішування з більш важкими за ізотопним складом СПВ можна надійно встановити факт забруднення.

Ізотопний аналіз поверхневих або неглибоких підземних вод, що зазнали змішування з СПВ дозволяє також здійснити масово-балансову оцінку суміші, тобто визначити кількісний внесок всіх вод, що беруть участь у змішуванні. Ізотопна масово-балансова модель змішування базується на таких співвідношеннях:

$$M_1 + M_2 = M_{mix}; \quad (1) \quad \delta_{mix} \cdot M_{mix} = \delta_1 \cdot M_1 + \delta_2 \cdot M_2, \quad (2)$$

де M_1 , M_2 , M_{mix} – кількість (об'єм) речовини або рідин, що змішуються, m^3 ; δ_1 , δ_2 , δ_{mix} – ізотопний склад речовин або рідин, що змішуються, %.

Проаналізовані вище показники, а також їхні характеристики та призначення у системі спостережень зведено в таблицю 2.

Таблиця 2 – Індикатори впливу нафтогазовидобувних об'єктів на стан і якість підземних і поверхневих вод

Показник	Одиниці вимірювання	Обґрунтування інформативності показника
Рівні підземних вод	м	Свідчить про зміни у режимі живлення водоносного горизонту
Температура	°C	Характеризує зв'язок підземних і поверхневих вод, підвищення може свідчити про тепловий вплив
Питома електропровідність	мкС/см	Забезпечує надійне прогнозування мінералізації води внаслідок тісної взаємозалежності
рН	од.	Визначають умови геохімічної міграції компонентів, зокрема забруднювальних речовин, у водному розчині
Окисл.-відновний потенціал	мВ	
Хлориди, Cl^-	мг/дм ³	Аномальні значення свідчать про забрудненість вод СПВ, оскільки є їх основними компонентами (98–99 % за масовим вмістом), є активними мігрантами
Натрій, Na^+	мг/дм ³	
Кальцій, Ca^{2+}	мг/дм ³	
Стронцій, Sr^{2+}	мг/дм ³	Аномальні значення свідчать про забрудненість вод СПВ, активний мігрант, може замішувати Ca, а отже, становить додаткову небезпеку для здоров'я людини. Невластивий зоні активного водообміну.
Літій, Li^+	мг/дм ³	Аномальні значення свідчать про забруднення вод СПВ, достатньо активний мігрант, є переважно нехарактерним для зони активного водообміну
Нафтопродукти	мг/дм ³	Аномальні значення свідчать про забрудненість вод пластовими флюїдами або вуглеводневою продукцією
Мінералізація	мг/дм ³	Інтегрально характеризує стан і якість води. Аномальні значення свідчать про забрудненість вод пластовими водами у разі явного зростання
Ізотопний склад води, δ^2H , $\delta^{18}O$	‰	Характеризує внесок СПВ у разі їхнього змішування з природною водою, виявляє якісну й кількісну роль у живленні підземних і поверхневих вод

Безпосередніми сигналізаторами надходження СПВ у природні води є питома електропровідність, уміст властивих СПВ компонентів (Cl^- , Na^+ , Sr^{2+} , Li^+ , нафтопродукти) і мінералізація води. Цей перелік індикаторів пропонуємо вважати обов'язковим і мінімальним, оскільки він становить основу моніторингу підземних і поверхневих вод на ділянках об'єктів нафтогазовидобувної діяльності.

Для зберігання, оброблення та аналізу даних моніторингу в рамках дисертаційної роботи було розроблено інформаційно-аналітичний програмний комплекс на основі реляційної бази даних Microsoft Access, пов'язаної з геоінформаційною системою. Комплекс забезпечує зберігання та впорядкування результатів вимірювань, їхнє оперативне поповнення, здійснення вибірки, експортування обраних даних для подальшого опрацювання та складання звітів із моніторингу та оцінки впливу на довкілля, створення картографічного матеріалу і проведення геопросторового аналізу.

На підставі наведених вище методологічних підходів упроваджено моніторинг підземних і поверхневих вод на низці родовищ Східного басейну. Як приклад реалізації розроблених положень у роботі наведено детальний опис системи моніторингу на Ігнатівському нафтогазоконденсатному родовищі Спільного підприємства «Полтавська газонафтова компанія», розташованому в Новосанжарському районі Полтавської області. Виходячи з гідрогеологічних умов і ландшафтної будови території родовища, результатів рекогносцирувальних досліджень, аналізу фонових стану довкілля, поточної нафтогазовидобувної інфраструктури на родовищі, розроблено спостережну мережу з 25 пунктів моніторингу. Для визначення можливого впливу на підземні й поверхневі води застосовано перелік індикаторів, обґрунтованих у роботі, результати спостережень зібрано та опрацьовано в складі інформаційно-аналітичного комплексу. Результати моніторингу, проведеного протягом 2006–2017 років на Ігнатівському родовищі за безпосередньої участі автора, свідчать про наявність ознак певної трансформації складу підземних вод безпосередньо на ділянках експлуатації нафтогазовидобувних об'єктів, але за їхніми межами ознак негативного впливу на водні об'єкти за період спостережень не виявлено. Упроваджена система моніторингу уможливила забезпечення ефективного природоохоронного контролю за технологічними процесами нафтогазовидобування на Ігнатівському родовищі та підвищення екологічної безпеки діяльності Спільного підприємства «Полтавська газонафтова компанія».

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

У результаті виконання дисертаційної роботи вирішено важливі науково-практичні завдання організації та проведення моніторингу підземних і поверхневих вод на територіях діяльності нафтогазовидобувних об'єктів Східного нафтогазоносного басейну, що забезпечує істотне підвищення екологічної безпеки регіону. У процесі виконання дисертаційних досліджень було отримано такі наукові і прикладні результати:

1. Необхідність проведення моніторингу вод на території діяльності нафтогазовидобувних об'єктів в Україні закріплена на законодавчому рівні. Аналіз

чинного нормативно-методичного забезпечення моніторингу вод та опрацювання наукових публікацій показали, що методичні засади проведення моніторингу, який на територіях нафтогазовидобутку відповідає локальному рівню, не розроблені.

2. Доведено, що на досліджених ділянках нафтогазовидобувної діяльності пріоритетним забруднювачем гідросфери є об'єкти видобування, транспортування, зберігання та повернення в надра супутніх пластових вод (далі – СПВ), які формують системи висхідних, латеральних та низхідних техногенних потоків екологічно небезпечних забруднювальних речовин.

3. На основі даних про якісний склад СПВ визначено, що вони становлять істотну екологічну небезпеку для питних водоносних горизонтів та екосистем поверхневих водних об'єктів унаслідок надзвичайно високих концентрацій (на рівні десятків і сотень ГДК для питних вод) таких рухомих компонентів, як хлориди, натрій, стронцій і літій.

4. За результатами багаторічних спостережень на родовищах Східної України встановлено, що найбільші ризики забруднення підземних і поверхневих вод існують на ділянках експлуатації відкритих систем підготовки продукції внаслідок агресивної руйнівної дії СПВ на протифільтраційні екрани накопичувачів технологічних рідин. На прикладах доведено, що на ділянках експлуатації таких споруд можуть виникати осередки площинного забруднення підземних вод першого від поверхні водоносного горизонту, рівень якого сягає екстремально високих значень (>100 ГДК). Наступними за величиною ризику забруднення вод технологічними об'єктами визначено споруди систем підтримання пластового тиску та повернення пластових вод у надра. На ділянках експлуатації насосних станцій, водоводів і поглинальних свердловин у місцях поривів і розгерметизації обладнання формуються точкові (локальні) осередки забруднення ґрунтових вод високого (10–100 ГДК) та помірного (2–10 ГДК) рівня.

5. Обґрунтовано перелік індикаторів негативного впливу нафтогазовидобувної діяльності на об'єкти гідросфери, які включили польові показники (вимірювання рівнів підземних вод, фізико-хімічні показники – температура, питома електропровідність, водневий показник, окисно-відновний потенціал), лабораторні показники (уміст компонентів, типових для СПВ – Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Li^+ , Br^+ , уміст стабільних ізотопів кисню й водню, уміст розчинених вуглеводнів) та розрахункові показники (мінералізація води й загальна жорсткість). Доведено, що мінімально достатнім набором показників, що забезпечують ідентифікування забруднення природних вод компонентами СПВ, є питома електропровідність, уміст Cl^- , Na^+ , Sr^{2+} , Li^+ та мінералізація води, які в спірних випадках можуть бути доповнені визначенням ізотопного складу (^{18}O , ^2H) забруднених вод. Статистично визначено співвідношення величини питомої електропровідності (ЕС) та мінералізації (М) вод (М/ЕС) на досліджених територіях у діапазоні 0,64–0,71, що може використовуватися для попереднього оцінювання мінералізації води на етапі польових досліджень.

6. Розроблено методологічні засади організації та здійснення локального моніторингу гідросфери на території нафтогазопромислової діяльності, що включають обґрунтування мети та завдань моніторингу, послідовність і періодичність проведення спостережень, критерії встановлення та розміщення

пунктів моніторингу для різних водних об'єктів, обґрунтування переліку обов'язкових і рекомендованих індикаторів, методи та засоби практичного здійснення режимних спостережень, методи оброблення й інтерпретації результатів спостережень. Розроблено інформаційно-аналітичний програмний комплекс для ефективного зберігання, опрацювання та аналізу результатів моніторингу вод і взаємопов'язану з ним систему геоінформаційного картографічного забезпечення процедури моніторингу на всіх її етапах.

7. Розроблено й практично застосовано алгоритм застосування геоінформаційних технологій для вирішення геопросторових завдань на етапі підготовки схеми моніторингу, а саме – визначення місць розташування пунктів спостережень і оконтурювання їх водозбірних площ на основі цифрової моделі рельєфу. Показано, що на площах гірничих відводів цифрова модель рельєфу може успішно використовуватися для вирішення зазначених вище завдань як для поверхневого стоку, так і для підземних вод першого від поверхні водоносного горизонту в поточних гідрогеологічних умовах території досліджень.

8. Система локального моніторингу підземних і поверхневих вод на території діяльності нафтогазовидобувних підприємств, яка ґрунтується на розроблених у роботі науково-методичних засадах забезпечує підвищення ефективності контролю якості гідросфери та є основою для прийняття об'єктивних управлінських рішень.

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО

1. Нафтогазовидобувним підприємствам пропонується застосовувати наведені методологічні засади організації та здійснення моніторингу підземних і поверхневих вод на території надрокористування.

2. Фахівцям під час проведення оцінки впливу нафтогазовидобувних об'єктів на довкілля для достовірного визначення впливу на підземні та поверхневі води пропонується використовувати розроблений перелік індикаторів впливу та забруднення.

3. Державній службі геології та надр України, відомчим службам Міністерства екології та природних ресурсів України пропонується використовувати наведені науково-методичні засади моніторингу підземних і поверхневих вод під час створення галузевого стандарту з екологічного моніторингу нафтогазовидобувних територій у частині організації спостережень за станом підземних і поверхневих вод.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Журавель Н. Е., Клочко П. В., Дядин Д. В. Современное экологическое состояние подземных и поверхностных вод в районе Качановского нефтепромыслового узла. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2007. № 4. С. 66–73. Автор виконав польові вимірювання, відбирання проб води,

опрацювання та аналізування результатів гідрохімічних досліджень. Участь автора – 30%.

2. Дядін Д. В. Гідрохімічні показники осередків забруднення підземних вод на родовищах Східного нафтогазоносного басейну. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2017. № 1(15). С. 37–47.

3. Дядін Д. В., Журавель М. Ю., Клочко П. В., Борщ М. С., Яременко В. В. Оцінка впливу на підземні води на ділянці проведення гідророзриву пласта. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2017. № 2 (16). С. 10–19. Автору належить обробка та аналіз результатів досліджень, проведення оцінки впливу на підземні води. Участь автора – 50%.

4. Дядін Д. В., Журавель М. Ю., Клочко Т. О., Яременко В. В. Аналіз чинного нормативно-правового забезпечення екологічного моніторингу на територіях діяльності нафтогазовидобувних підприємств України. *Екологія та промисловість*. 2017. № 3–4 (52–53). С. 127–134. Автор проаналізував нормативні документи щодо вимог стосовно організації та проведення моніторингу довкілля на територіях нафтогазовидобування. Участь автора – 50%.

5. Дядін Д. В., Журавель М. Ю., Клочко П. В. Оцінка стану довкілля на ділянках аварійних свердловин. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2018. № 1 (17). С. 4–13. Автор виконав основний обсяг аналітичної роботи щодо опрацювання та інтерпретування даних, обґрунтував показники моніторингу ділянок аварійних свердловин. Участь автора – 60%.

6. Дядін Д. В., Дмитренко Т. В., Яковлев В. В., Вергелес Ю. І. Оцінка стану природних джерел у басейні р. Роганка Харківської області як джерел альтернативного децентралізованого водопостачання. *Екологічна безпека*. 2018. Вип. 2/2018 (26). С. 39–48. Автор проаналізував гідрохімічні характеристики джерельних вод та здійснив оцінку техногенного впливу в локальному водозбірному басейні. Участь автора – 50%.

7. Дядін Д. В. Принципи розміщення пунктів локального моніторингу підземних і поверхневих вод на ділянках нафтогазовидобування. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2018. № 2 (18). С. 121–133.

8. Zhuravel M., Drozd O., Diadin D., Sheina T., Yaremenko V. Geochemical characteristics of halogenic technosoils within oil and gas fields. *Agrochemistry and Soil Science*. 2017. 86. P. 100–106. Автор проаналізував склад і ступінь екологічної безпеки супутніх пластових вод як забрудника ґрунтового розчину на нафтогазовому родовищі. Участь автора – 20%.

9. Vystavna Y., Yakovlev V., Diadin D., Vergeles Y., Stolberg F. Hydrochemical characteristics and water quality assessment of surface and ground waters in the transboundary (Russia/Ukraine) Seversky Donets basin. *Environmental Earth Sciences*. 2015. Vol. 74 (1). P. 585–596. Автор проаналізував просторові та часові закономірності розподілу гідрохімічного складу підземних вод у дослідженному басейні в умовах комплексного техногенного впливу. Участь автора – 30%.

10. Vystavna Y., Huneau F., Diadin D. Defining a stable water isotope framework for isotope hydrology application in a large transboundary watershed (Russian Federation/Ukraine). *Isotopes in Environmental and Health Studies*. 2017. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/10256016.2017.1346635>. (Індексується в міжнародних

наукометричних базах Scopus, Web of Science). Автор здійснив оцінку водного балансу підземних та поверхневих вод із застосуванням методу водних стабільних ізотопів. Участь автора – 40%.

11. Vystavna Y., Frkova Z., Celle-Jeanton H., Diadin D., Huneau F., Steinmann M., Crini N., Loup C. Priority substances and emerging pollutants in urban rivers in Ukraine: occurrence, fluxes and loading to transboundary European Union watersheds. *Science of the Total Environment*. 2018. Vol. 637–638. P. 1358–1362. (Індексується в міжнародних наукометричних базах Scopus, Web of Science). Автор дослідив якісний склад річкових вод та здійснив інтерпретацію показників техногенного впливу, зокрема визначив джерела надходження поліароматичних вуглеводнів у водні об'єкти. Участь автора – 20%.

Наукові праці, які засвідчують апробацію результатів

12. Яременко В. В., Дядін Д. В. Гідрохімічний моніторинг природних вод на території діяльності СП «Полтавська газонафтова компанія». *Безпека середовища життєдіяльності людини: екологічні, медичні та економічні аспекти* : матер. наук.-практ. конф., (м. Ялта, 26–30 вересня 2011 р.). Ялта, 2011. С. 20–21.

13. Diadin D., Vystavna Y. Temporal and spatial variations in stable isotopes (^{18}O and ^2H) and major ion concentration within the Seversky Donets water catchment, East Ukraine. *International Symposium on Isotope Hydrology : Revisiting Foundations and Exploring Frontiers*: proceedings of the symposium (IAEA, 11–15 May 2015). Vienna, Austria, 2015. P. 147–150.

14. Vystavna Y., Diadin D. Water scarcity and contamination in eastern Ukraine. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*. 2015. Vol. 366. P. 149–150. (Збірник індексується у міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science)

15. Дядін Д. В., Ключко П. В., Голик Ю. С., Яременко В. В. Организация мониторинга подземных вод на территории деятельности СП «Полтавская газонефтяная компания» (Полтавская область, Украина). *Современные научные исследования: инновации и опыт*: матер. XVII–XVIII міжнар. наук.-практ. конф., (м. Єкатеринбург, Росія, 04–05 грудня 2015 р.). Єкатеринбург, 2015. С. 11–17.

16. Дядін Д. В. Геоінформаційне забезпечення моніторингу довкілля на об'єктах нафтогазовидобувного комплексу. *ПІС-Форум 2016* : матер. форуму (ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 16–18 березня 2016 р.). Харків, 2016.

17. Дядін Д. В. Гідрохімічні показники моніторингу підземних і поверхневих вод на об'єктах нафтогазовидобувної інфраструктури. *Екогеофорум-2017. Актуальні проблеми та інновації*: матер. міжнар. наук.-практ. конф. (Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу, 22–25 березня 2017 р.). Івано-Франківськ, 2017. С. 66–67.

18. Diadin D., Celle-Jeanton H., Steinmann M., Loup C., Crini N., Vystavna Y., Vergeles Y., Huneau F. Distribution of persistent organic pollutants and trace metals in surface waters in the Seversky Donets River basin (Eastern Ukraine). *European Geosciences Union General Assembly 2017*. (Vienna, 23–28 April 2017). Geophysical Research Abstracts. Vol. 19, EGU2017-14670-1. Vienna, Austria, 2017.

19. Дядін Д. В., Ключко Т. О., Яременко В. В. Екологічний моніторинг компонентів довкілля під час розробки нафтогазового родовища. *Проблеми й*

перспективи розвитку академічної та університетської науки : матер. X міжнар. наук.-практ. конф. (Полтавський нац. техн. ун-т імені Юрія Кондратюка, 6–8 грудня 2017 р.). Полтава, 2017. С. 36–37.

20. Diadin D. Implementation of water monitoring on oil and gas production areas in Ukraine. *Science-policy seminar “Instruments of EU environmental policy for Ukraine”*. V. N. Karazin Kharkiv National University, 20 April 2018. Kharkiv, Ukraine. P. 12–14.

21. Drozd O., Zhuravel M., Diadin D. Halogenated technosoils within oil and gas fields of Ukraine. *Global Symposium on Soil Pollution: proceedings* (Rome, 2–4 May 2018). Rome, Italy, 2018. P. 257–262.

22. Подчерніна Т. Ю., Дядін Д. В. Використання ГІС для оцінки впливу господарської діяльності на об'єкти природно-заповідного фонду. *ГІС і заповідні території* : матер. VI наук.-метод. семінару (м. Краснокутськ, НПП Слобожанський, 29 червня – 02 липня 2018 р.). Харків, 2018.

23. Сенько О. С., Дядін Д. В. Просторові обмеження нафтогазовидобувної діяльності в складі оцінки впливу на довкілля. Сталий розвиток міст: матер. XII Всеукр. студ. наук.-техн. конф. (м. Харків, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 24 квітня 2019 р.). Харків, 2019. С. 200–202.

АНОТАЦІЯ

Дядін Д. В. Моніторинг підземних і поверхневих вод на об'єктах нафтогазопромислового комплексу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. Сумський державний університет Міністерства освіти і науки України, Суми, 2019. Спеціалізована вчена рада Д 55.051.04.

Дисертація присвячена розробленню науково-методичних засад локального моніторингу підземних і поверхневих вод на території діяльності об'єктів нафтогазопромислового комплексу з метою підвищення екологічної безпеки нафтогазовидобувних регіонів України.

Аналіз чинної законодавчої бази, нормативно-методичного забезпечення та наукових публікацій показав, що методичні засади локального моніторингу гідросфери на території діяльності нафтогазовидобувних об'єктів не розроблені. Встановлено, що на родовищах Східного нафтогазоносного басейну України найбільші осередки забруднення гідросфери компонентами супутніх пластових вод (далі – СПВ) виникають на ділянках експлуатації відкритих споруд підготовки продукції та систем повернення СПВ у надра, а екологічна небезпека СПВ зумовлена високими концентраціями таких рухомих компонентів, як іони хлоридів, натрію, стронцію та літію. Науково обґрунтовано й застосовано комплекс індикаторів забруднення гідросфери компонентами СПВ на основі гідрохімічних та ізотопних показників, а саме: рівні підземних вод, температура, питома електропровідність, водневий показник, окислювально-відновний потенціал, уміст хлоридів Cl^- , натрію Na^+ , кальцію Ca^{2+} , стронцію Sr^{2+} , літію Li^+ , нафтопродуктів, мінералізація, ізотопний склад води $\delta^{2}\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$. Розроблено науково-методичні засади

локального моніторингу підземних і поверхневих вод, що включають обґрунтування мети та завдань моніторингу, послідовність і періодичність проведення спостережень, критерії встановлення та розміщення пунктів моніторингу для різних категорій вод, перелік обов'язкових і рекомендованих індикаторів, методи та засоби практичного здійснення режимних спостережень, методи оброблення та інтерпретування результатів спостережень. Розроблено систему інформаційного забезпечення локального моніторингу гідросфери, що складається з комплексу бази даних та геоінформаційної системи для зберігання та опрацювання даних якісного складу вод і є основою для прийняття об'єктивних управлінських рішень щодо забезпечення вимог екологічної безпеки.

Ключові слова: екологічна безпека, видобування нафти й газу, супутні пластові води, моніторинг, підземні води, поверхневі води, техногенне забруднення, індикатори, мережа пунктів спостережень.

АННОТАЦІЯ

Дядин Д. В. Мониторинг подземных и поверхностных вод на объектах нефтегазопромышленного комплекса. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. Сумской государственной университет Министерства образования и науки Украины, Сумы, 2019. Специализированный ученый совет Д 55.051.04.

Диссертация посвящена разработке научно-методических основ локального мониторинга подземных и поверхностных вод на территории деятельности объектов добычи нефти и газа с целью повышения экологической безопасности нефтегазодобывающих регионов Украины.

Анализ действующей законодательной базы, нормативно-методического обеспечения и научных публикаций показал, что методические основы локального мониторинга гидросферы на территории деятельности нефтегазодобывающих объектов не разработаны. Установлено, что на месторождениях Восточного нефтегазоносного бассейна Украины наибольшие очаги загрязнения гидросферы компонентами попутных пластовых вод (далее – ППВ) возникают на участках эксплуатации открытых сооружений подготовки продукции и систем возвращения ППВ в недра, а экологическая опасность ППВ обусловлена высокими концентрациями таких подвижных компонентов, как ионы хлоридов, натрия, стронция и лития. Научно обоснован и применен комплекс индикаторов загрязнения гидросферы компонентами ППВ на основе гидрохимических и изотопных показателей, а именно: уровни подземных вод, температура, удельная электропроводность, водородный показатель, окислительно-восстановительный потенциал, содержание хлоридов Cl^- , натрия Na^+ , кальция Ca^{2+} , стронция Sr^{2+} , лития Li^+ , нефтепродуктов, минерализация, изотопный состав воды $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$. Разработаны научно-методические основы локального мониторинга подземных и поверхностных вод, включающие обоснование целей и задач мониторинга, последовательность и периодичность проведения наблюдений, критерии установления и размещения пунктов мониторинга для различных категорий вод, обоснован перечень обязательных и рекомендуемых индикаторов, методы и средства практического

осуществления режимных наблюдений, обработки и интерпретации результатов наблюдений. Разработана система информационного обеспечения локального мониторинга гидросферы, состоящая из комплекса базы данных и геоинформационной системы для хранения и обработки данных качественного состава вод и являющаяся основой для принятия объективных управленческих решений по обеспечению требований экологической безопасности.

Ключевые слова: экологическая безопасность, добыча нефти и газа, сопутствующие пластовые воды, мониторинг, подземные воды, поверхностные воды, техногенное загрязнение, индикаторы, сеть пунктов наблюдений.

ABSTRACT

Diadin D. V. Groundwater and surface water monitoring on oil-gas production areas. – Qualifying scientific work on the manuscript right.

Thesis for the academic degree of the Candidate of Technical Science (Doctor in Philosophy) in specialty 21.06.01 – environmental safety. Sumy State University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Sumy, 2019. Specialized Academic Council D 55.051.04.

Thesis treats the development of scientific and methodological principles of local monitoring of groundwater and surface water on the areas of oil-gas production in order to enhance the environmental safety of oil-gas production regions of Ukraine.

Analysis of current legislation, normative and methodological guidelines as well as scientific papers has shown that methodological background of local water monitoring on oil-gas production areas is not developed. It has been found that on oil-gas fields of Eastern oil-gas-bearing basin of Ukraine the highest level of water contamination with produced water components are observed at operational sites of open facilities of produced fluids processing as well as systems of produced water deep injection. Environmental hazard of produced water has been found to be linked with high concentrations of such mobile substances as chloride, sodium, strontium and lithium ions. The set of indicators of natural water pollution by produced water compounds was scientifically justified and applied on the bases of hydrochemical and isotopic tools. It includes groundwater levels, temperature, conductivity, pH, redox-potential, chloride, sodium, calcium, strontium, lithium, hydrocarbons, total dissolved solids, water stable isotopes $\delta^2\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$. Scientific and methodological principles of local monitoring of groundwater and surface water were developed. They comprise justification of objectives and tasks of monitoring, sequence and frequency of observations, criteria for identification and allocation of monitoring points for different types of water, set of obligatory and optional indicators, techniques and tools for field observations and water sampling, methods of observation data processing and interpretation. Informational system supporting water monitoring commitment was developed. It combines the database block with geographical information unit for data storage and processing of water quality information. The system serves as a base for effective decision-making regarding environmental safety requirements.

Keywords: environmental safety, oil and gas production, produced water, monitoring, groundwater, surface water, technogenic pollution, indicators, observation points grid.

Підписано до друку 25.10.2019.
Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 1,1. Тираж 100 пр. Зам. № 10125

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.