

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**ГАББАСОВА САБІНА**

УДК 504.5:338.583(043.5)

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**ПРОГНОЗНЕ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА**  
**КАСПІЙСЬКЕ МОРЕ У РЕЗУЛЬТАТІ ЗМІНИ ІНФРАСТРУКТУРИ**  
**МОРСЬКОЇ АКВАТОРІЇ**

Спеціальність – 183 Технології захисту навколишнього середовища

Галузь знань – 18 Виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 Габбасова С.

Наукові керівники – Пляцук Леонід Дмитрович, доктор технічних наук,  
професор; Аблєєва Ірина Юріївна, кандидат технічних наук

Суми – 2021

## АНОТАЦІЯ

**Габбасова С. Прогнозне оцінювання техногенного навантаження на Каспійське море у результаті зміни інфраструктури морської акваторії. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 183 – Технології захисту навколишнього середовища. – Сумський державний університет, Суми, 2021.

Дисертація присвячена вирішенню науково-практичного завдання щодо комплексного екологічного аналізу рівня техногенного навантаження в Каспійському регіоні, впливу зміни інфраструктури регіону на його сталий розвиток, застосування технологій захисту навколишнього середовища для підвищення рівня екологічної безпеки морської акваторії, можливість розвитку співробітництва прикаспійських держав для забезпечення екологічної безпеки. Основними завданнями дисертаційних досліджень було розроблення системи захисту Каспійського моря від техногенного впливу на його акваторію; розроблення рекомендацій щодо зниження імовірності екологічних ризиків Каспійського моря; проектування регіональної системи раннього сповіщення загрози екологічної безпеки Каспійського моря.

Каспійське море є внутрішньою замкненою водоймою, розташованою на значному материковому просторі на межі Європи та Азії, оточена п'ятьма прибережними державами – Республіка Азербайджан, Ісламська республіка Іран, Туркменістан, Республіка Казахстан і Росія. Головною відмінністю Каспію є його мінливість гідрометеорологічних та гідродинамічних режимів, на які впливають як природні, так і антропогенні фактори.

Зростає ймовірність екологічних проблем у Каспійському регіоні, пов'язаних зі зміною інфраструктури промисловості. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває вивчення процесів як природних, так і тих, що обумовлені господарською діяльністю зі зміною інфраструктури промисловості, що впливають на екологічну стабільність Каспію та сталий розвиток Каспійського регіону.

Мета дисертаційного дослідження полягає у підвищенні рівня екологічної безпеки Каспійського моря та реалізації принципів організації раціонального природокористування та сталого розвитку регіону.

Автором було поставлено та вирішено такі завдання дисертаційного дослідження: провести аналіз екологічного стану Каспійського моря; визначити основні фактори, що впливають на сталий розвиток регіону; провести екологічний моніторинг Каспійського моря; дослідити екологічний стан та його формування під впливом техногенного впливу; розробити технологію захисту довкілля для утилізації забруднень; оцінити вплив вуглеводневого забруднення Каспію; розробити рекомендації щодо захисту навколишнього середовища від нафтового забруднення; розробити рекомендації щодо зниження виникнення екологічних ризиків; розробити рекомендації щодо створення регіональної системи екологічної безпеки.

Автором проаналізовано процеси, що формують екосистему Північного Каспію у природних умовах і, тим більше, у стані стресу при надзвичайних ситуаціях нафтового розливу. Вони настільки складні, різноманітні і взаємозалежні, що прогнозувати їх розвиток в кількісних співвідношеннях фактично неможливо. Стохастичний характер цих процесів досить очевидний. Їх статистичний опис, тобто визначення не випадкових характеристик цих випадкових процесів, потребують виконання величезної кількості моніторингових та експедиційних спостережень на єдиній методичній основі. Сьогодні це неможливо, тому необхідно спиратися на приблизні оціночні характеристики типу часу відновлення, уразливості і чутливості до нафтового забруднення. Звичайно, на разі, ці величини визначені на інтуїтивному рівні, проте їх чітке формулювання в контексті стохастичної моделі дозволить досить обґрунтовано оцінити ризики ураження біоти при аварійних нафтових розливах.

Результати сучасних наукових досліджень підтверджують, що море знаходиться під впливом потужних антропогенних впливів, що призводять до певних негативних екологічних наслідків. Так, окремі райони Каспію вже

перетворилися в мертві зони, де майже не зустрічаються риби і безхребетні тварини. Загалом, води Каспійського моря характеризуються як «забруднені».

Встановлено, що екологічні проблеми Каспію і його узбережжя є наслідком усієї історії екстенсивного економічного розвитку в країнах регіону. На цьому позначаються як довгострокові природні зміни (вікові коливання рівня моря, зміна клімату), так і соціально-економічні проблеми (економічні кризи, регіональні конфлікти, розвиток видобутку нафти тощо). Облік і дослідження техногенних факторів забруднення акваторії Каспійського моря, їх взаємозв'язок із природним середовищем – це складне та багатофакторне завдання. Воно вимагає інформаційної підтримки різних факторних даних і застосування сучасних методів їх аналізу.

Автором встановлено, що значної шкоди водним об'єктам завдає сільське господарство за рахунок, переважно, стоку з полів використаних хімікатів (добрив і пестицидів). Через ігнорування встановленої відсоткової норми та легку розчинність мінеральні добрива, що є солями неорганічних кислот (нітратами, фосфатами калію і амонію), мігрують в поверхневі й підземні води. Наслідком їх впливу є підвищення вмісту біогенних елементів у воді, бурхливий розвиток синьо-зелених водоростей, що викликає «цвітіння води» і протікання процесу евтрофікації. Найнебезпечнішими з позицій екологічної безпеки є фосфор- і хлормісткі пестициди, у складі яких є високотоксичні органічні речовини, особливо дихлордифенілтрихлоретан і гексахлорциклогексан.

Варто відмітити, що механічні та фізико-хімічні методи боротьби з нафтовими забрудненнями здатні видалити нафту з водної поверхні, однак у боротьбі з емульгованою нафтою і тонкою нафтовою плівкою вони малоефективні. Біоремедіаційний спосіб очищення водної екосистеми допомагає усунути недоліки цих методів і може застосовуватися спільно з ними для більшої ефективності очищення.

Автором запропоновано суміщений метод очищення нафтових забруднень, що працює в два етапи і дозволяє досягти високого ступеня очищення. Перший етап очищення – механічний, який забезпечує збір нафти до заданої товщини

нафтової плівки, який розраховується на основі фізико-хімічних властивостей нафти і гідродинамічних особливостей морської акваторії, другий – біоремедіаційний.

Все вищезазначене підтверджує актуальність теми дисертаційного дослідження, яка має важливе наукове та практичне значення, оскільки спрямована на вирішення актуального науково-практичного питання підвищення екологічної безпеки Каспійського регіону.

Автором вперше для зниження техногенного навантаження на Каспійське море проведений комплексний аналіз екологічних проблем, що дозволив виявити річковий стік як переважаюче джерело забруднення морського середовища нафтопродуктами, пестицидами та важкими металами.

Автором вперше на підставі проведеного екологічного моніторингу Каспійського моря із урахуванням його екологічного стану методами дистанційного зондування визначені техногенно напружені зони та одержано дані динаміки нафтового забруднення морського середовища.

Автором вперше для оцінювання техногенного навантаження на Каспійське море з використанням інтегрально-диференційного методу розроблено систему індикаторів та сигнальних показників якості, що враховує як фізико-хімічні властивості абіотичної компоненти екосистеми, так і параметри еколого-трофічних груп біоти.

Автором вперше з метою підвищення екологічної безпеки Каспійського моря під час утилізації нафтових забруднень встановлено закономірності зміни показників рН та газоутворення процесу деструкції нафтових вуглеводнів після внесення гібридного біопрепарату, одержаного на основі біохімічних відходів.

Автором вперше розроблені заходи щодо запобігання загроз екологічної безпеки та попередження екологічних ризиків в Каспійському регіоні та запропоновані варіанти удосконалення нормативної бази, яка регламентує екологічну безпеку регіону.

Автором розвинуто гідродинамічні моделі розтікання та розливу нафти, що дозволили визначити об'єм і площу нафтової плівки для прогнозування масштабів аварійних розливів нафти в море і зону максимального ураження екосистеми.

На підставі проведеного екологічного моніторингу Каспійського моря запропоновано комплекс заходів щодо забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку Каспійського регіону.

Обґрунтовано біохімічний спосіб ліквідації нафтових розливів як найбільш ефективний, у результаті чого розроблено та одержано біопрепарат у формі гранул, що містить іммобілізовані активні штами мікроорганізмів, які володіють нафтодеструктивною здатністю. Запропонована технологія утилізації нафтових забруднень із використанням гібридного біохімічного препарату показала високу ефективність деструкції нафти та нафтопродуктів.

Реалізовані рекомендації щодо розробки нормативних та методичних матеріалів забезпечення екологічної безпеки та правових відносин прикаспійських держав. Розроблені заходи щодо зниження потенційного екологічного ризику від техногенного впливу антропогенного походження, що дає можливість підвищити рівень екологічної безпеки Каспійського регіону.

Результати дослідження впроваджено в навчальний процес кафедри екології та природоохоронних технологій Сумського державного університету під час викладання дисциплін «Техноекологія» та «Міжнародне співробітництво в галузі екології».

Дисертаційна робота є завершеним дослідженням у науковому напрямку екологічної безпеки. Основні положення, розробка та обґрунтування наукової новизни та практичного значення дисертаційної роботи отримано автором самостійно.

Основні результати роботи доповідались та опубліковані в матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій та наукових виданнях.

**Ключові слова:** техногенне навантаження, екологічна безпека, забруднення морських вод, екологічні проблеми Каспію.

### Список публікацій здобувача

#### ***Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:***

1. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Yu., Gabbasova S. M., Mamutova A. A. System approach to the assessment of anthropogenic impact on marine ecosystems during oil production activities. *Environmental problems*. 2018. Vol. 3. No. 3. P. 157–166.

2. Plyatsuk L. D., Gabbasova S. M., Ablieieva I. Yu., Mamutova A. A. Analysis of technogenic load of oil and gas production on Caspian Region. *Journal of Engineering Sciences*. 2018. Vol. 5. Iss. 2. P. H9–H17.

3. Пляцук Л. Д., Аблеева И. Ю., Габбасова С. М., Аблеев А. Г., Сипко И. А. Анализ источников антропогенного воздействия на природную среду Каспийского моря. *Екологічна безпека*. 2018. № 2 (26). С. 49–58.

4. Ablieieva I., Sipko I., Gabbasova S. Toxicological and microbiological assessment of oil-polluted soils in biotechnological decontamination. Proceedings of 9-th International Youth Science Forum «*Litteris et Artibus*». Lviv, Ukraine : Lviv Polytechnic National University, 2019. P. 201–207.

5. Ablieieva I., Plyatsuk L., Roi I., Chekh O., Gabbassova S., Zaitseva K., Lutsenko S. Study of the oil geopermeation patterns: a case study of ANSYS CFX software application for computer modeling. *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 287. P. 112347.

#### ***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:***

6. Пляцук Л. Д., Аблеева И. Ю., Габбасова С. М. Комплексная экологически безопасная переработка регенеративной серы. *Сталий розвиток – погляд у майбутнє* : збірник матеріалів семінару (м. Львів, 15 вересня 2017 року). Львів : НУ «Львівська політехніка», 2017. С. 32.

7. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Y., Gabbasova S. M. Assessment of technogenic impact on marine ecosystems during oil production process. *Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : збірник матеріалів 5-го Міжнародного конгресу. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2018. С. 57.

8. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Yu., Gabbasova S. M. Environmental problems of development and offshore oil production for the Caspian region of Kazakhstan. *Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр* : материалы XVII Международной научно-практической конференции. Актау : КГУТИ им. Ш. Есенова, 2018. С. 7–8.

9. Пляцук Л. Д., Габбасова С. М., Аблеева И. Ю. Дослідження джерел техногенного впливу на водні об'єкти (на прикладі Каспійського моря). *Проблеми екологічної безпеки* : матеріали XVI Міжнародної науково-технічної конференції (4-6 жовтня 2018 р.). Кременчук : ПП Щербатих О. В., 2018. С. 74–76.

10. Gabbasova S., Plyatsuk L., Ablieieva I. Biomonitoring application perspectives in decision of the estimation of the Caspian sea environmental state. *Actual Environmental Problems* : VIII-th International Scientific Conference of young scientists, graduates, master and PhD students. Minsk: International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, 2018. P. 98–99.

11. Габбасова С. М., Аблеева И. Ю. Экологические проблемы Каспийского моря. *Экология и безопасность* : материалы Международной научно-практической конференции молодых исследователей им. Д. И. Менделеева, посвященной 10-летию Института промышленных технологий и инжиниринга : сборник статей. Т. 2. Тюмень : ТИУ, 2019. С. 162–164.

12. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Yu., Gabbasova S. M. Environmental problems of the Caspian sea associated with the transportation or production of oil on the continental shelf. *Сучасні технології у промисловому виробництві*: матеріали VI Всеукраїнської науково-технічної конференції (Суми, 16-19 квітня 2019 р.). Суми : Сумський державний університет, 2019. С. 213–214.

13. Plyatsuk L. D., Gabbasova S. M., Ablieieva I. Yu. Methodological approaches to the protection of the Caspian Sea marine environment. *Екологія–2019* : VI-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (25-27 вересня 2019 р.). Вінниця : ВНТУ, 2019. С. 80.

14. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Yu., Gabbasova S. M. Methodology for calculating the assessment of technogenic load on marine ecosystems (by the example of the



Caspian Sea). *Сучасні технології у промисловому виробництві*: матеріали VII Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 21-24 квітня 2020 р.). Суми : Сумський державний університет, 2020. С. 211–212.

***Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:***

15. Пат. 146472 Україна, МПК (2006.01) B09C 1/10. Спосіб біоремедіації нафтозабруднених об'єктів / І. Ю. Аблеєва, Л. Д. Пляцук, І. О. Бережна, С. М. Габбасова; заявник та патентовласник Сумський державний університет. № u202005565; заявл. 27.08.2020; опубл. 24.02.2021, бюл. № 8. 4 с.

## ABSTRACT

***Gabbasova S. Predictive estimation of technogenic load on the Caspian Sea as a result of changes in the infrastructure of the sea area. – Qualifying scientific work on the manuscript rights.***

Thesis for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy by specialty 183 – Environmental protection technologies. – Sumy State University, Sumy, 2021.

The dissertation is devoted to solving a scientific and practical problem of comprehensive environmental analysis of the man-made load level in the Caspian region, the impact of changes in the region's infrastructure on its sustainable development, application of environmental protection technologies to improve the ecological safety of marine waters. The main objectives of the dissertation research were to develop a system of protection of the Caspian Sea from man-made impact on its waters; development of recommendations to reduce the probability of environmental risks of the Caspian Sea; design of a regional system for early warning of the threat to environmental safety of the Caspian Sea.

The Caspian Sea is an inland closed body of water located on a large continental area on the border of Europe and Asia. It is surrounded by five coastal states – the Republic of Azerbaijan, the Islamic Republic of Iran, Turkmenistan, the Republic of Kazakhstan and Russia. The main difference of the Caspian Sea is its variability of

hydrometeorological and hydrodynamic regimes, which are influenced by both natural and anthropogenic factors.

There is a growing probability of environmental problems in the Caspian region due to changes in industrial infrastructure. In this regard, the study of both natural and economic processes with changes in industrial infrastructure, which affect the ecological stability of the Caspian Sea and the sustainable development of the Caspian region, becomes especially relevant.

**The goal of the dissertation research** is to increase the level of environmental safety of the Caspian Sea and the implementation of the principles of rational environmental management and sustainable development of the region.

The author set and solved the following tasks of the dissertation research: analysis of the ecological state of the Caspian Sea; identification of the main factors that influence the sustainable development of the region; conducting ecological monitoring of the Caspian Sea; study of the ecological state and its formation under the influence of man-made influence and developing of the pollution utilization technology; assessment of the impact of hydrocarbon pollution of the Caspian Sea; development of recommendations for protection of the environment from oil pollution; development of recommendations to reduce the occurrence of environmental risks; development of recommendations for the creation of a regional system of environmental safety.

The author has analyzed the processes that form the ecosystem of the North Caspian Sea under natural conditions and, moreover, in a state of stress during oil spill emergencies. They are so complex, diverse and interdependent that it is virtually impossible to predict their development in quantitative terms. The stochastic nature of these processes is quite obvious. Their statistical description, i.e. determination of non-random characteristics of these random processes, requires a huge number of monitoring and expeditionary observations on a single methodological basis. Today it is not possible, so it is necessary to rely on approximate estimates of the type of recovery time, vulnerability and sensitivity to oil pollution. Of course, at present time, these values are defined on an intuitive level, but their clear formulation in the context of the stochastic

model will allow a fairly reasonable assessment of the risks of ecosystem's damage in emergency oil spills.

The results of modern scientific research confirm that the sea is under the influence of powerful anthropogenic influences that lead to certain negative environmental consequences. Thus, some areas of the Caspian Sea have already become dead zones, where fish and invertebrates are almost non-existent. In general, the waters of the Caspian Sea are characterized as «polluted».

It was found that the ecological problems of the Caspian Sea and its coast are a consequence of the whole history of extensive economic development in the countries of the region. This affects both long-term natural changes (age fluctuations in sea level, climate change) and socio-economic problems (economic crises, regional conflicts, the development of oil production, etc.). Accounting and research of man-made factors of pollution of the Caspian Sea, their relationship with the natural environment is a complex and multifactorial task. It requires information support of various factor data and the use of modern methods of their analysis.

The author found that significant damage to water bodies is caused by agriculture, mainly due to runoff from the fields of used chemicals (fertilizers and pesticides). Due to ignoring the percentage rate and easy solubility, mineral fertilizers, which are salts of inorganic acids (nitrates, potassium phosphates and ammonium), migrate to surface and groundwater. The consequence of their influence is an increase in the content of nutrients in the water, the rapid development of blue-green algae, which causes «water bloom» and the process of eutrophication. The most dangerous from the point of view of ecological safety are phosphorus- and chlorine-containing pesticides, which contain highly toxic organic substances, especially dichlorodiphenyltrichloroethane and hexachlorocyclohexane.

It should be noted that mechanical and physico-chemical methods of combating oil pollution can remove oil from the water surface, but in the fight against emulsified oil and thin oil film, they are ineffective. Bioremediation method of water ecosystem treatment helps to eliminate the disadvantages of these methods and can be used in conjunction with them for greater treatment efficiency.

The author has proposed a combined method of purification of oil pollution, which works in two stages and allows to achieve a high degree of purification. The first stage of purification is mechanical, which provides oil collection to a certain thickness of the oil film, which is calculated on the basis of physicochemical properties of oil and hydrodynamic features of the sea area, the second is bioremediation.

All the above confirms the relevance of the topic of dissertation research, which has important scientific and practical significance, as it is aimed at solving the actual scientific and practical issue of improving the environmental safety of the Caspian region.

For the first time to reduce the man-made impact on the Caspian Sea the author conducted a comprehensive analysis of environmental problems, which revealed the river runoff as the predominant source of pollution of the marine environment with petroleum products, pesticides and heavy metals.

The author for the first time on the basis of the ecological monitoring of the Caspian Sea taking into account its ecological condition by methods of remote sensing has defined technogenic tense zones and received a data of dynamics of oil pollution of the marine environment.

For the first time, the author has developed a system of indicators and signal quality indicators to assess the man-made load on the Caspian Sea using the integrated-differential method, which takes into account both physico-chemical properties of the abiotic component of the ecosystem and parameters of ecological and trophic biota groups.

For the first time, in order to increase the ecological safety of the Caspian Sea during the utilization of oil pollution, the author has found patterns of changes in pH and gas formation of the process of destruction of petroleum hydrocarbons after the introduction of a hybrid biological product based on biochemical waste.

The author for the first time developed measures to prevent threats to environmental safety and prevent environmental risks in the Caspian region and proposed options for improving the regulatory framework governing the environmental safety of the region.

The author has developed hydrodynamic models of oil spreading and spills, which allowed to determine the volume and area of the oil slick to predict the scale of emergency oil spills into the sea and the area of maximum ecosystem damage.

A set of measures to ensure environmental safety and sustainable development of the Caspian region based on the conducted environmental monitoring of the Caspian Sea was proposed.

The biochemical method of oil spill liquidation as the most effective has been substantiated. As a result biological preparation in the form of granules containing immobilized active strains of microorganisms with oil-destructive ability has been developed and obtained. Proposed technology of utilization of oil pollution using a hybrid biochemical has showed high efficiency of destruction of oil and oil products.

Recommendations for the development of regulatory and methodological materials to ensure environmental safety and legal relations of the Caspian states have been implemented. Measures to reduce the potential environmental risk from man-made impacts, which makes it possible to increase the level of environmental safety of the Caspian region, have been developed.

The results of the research were introduced into the educational process of the Department of Ecology and Environmental Protection Technologies of Sumy State University in the disciplines «Technoecology» and «International cooperation in the field of ecology».

The dissertation is a completed research in the scientific field of environmental safety. The main provisions, development and substantiation of scientific novelty and practical value of the dissertation work were received by the author independently.

The main results of the dissertation were reported and published in international and national conferences and scientific journals.

**Key words:** technogenic load, ecological safety, pollution of sea waters, ecological problems of the Caspian Sea.

## List of publications

### **Scientific papers, in which the scientific results of the dissertation are published**

1. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Yu., Gabbasova S. M., Mamutova A. A. System approach to the assessment of anthropogenic impact on marine ecosystems during oil production activities. *Environmental problems*. 2018. Vol. 3, No. 3. P. 157–166.

2. Plyatsuk L. D., Gabbasova S. M., Ablieieva I. Yu., Mamutova A. A. Analysis of technogenic load of oil and gas production on Caspian Region. *Journal of Engineering Sciences*. 2018. Volume 5. Issue 2. P. H9–H17.

3. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Yu., Gabbasova S. M., Ablieiev O. G., Sipko I. A. Analyz ystochnykov antropohennoho vozdeistvyia na pryrodnuuu sredu Kaspyiskoho moria [Analysis of sources of anthropogenic impact on the natural environment of the Caspian Sea]. *Ecological safety*. 2018. № 2 (26). P. 49–58.

4. Ablieieva I., Sipko I., Gabbasova S. Toxicological and microbiological assessment of oil-polluted soils in biotechnological decontamination. Proceedings of 9-th International Youth Science Forum «*Litteris et Artibus*». Lviv, Ukraine: Lviv Polytechnic National University, 2019. P. 201–207.

5. Ablieieva I., Plyatsuk L., Roi I., Chekh O., Gabbassova S., Zaitseva K., Lutsenko S. Study of the oil geopermeation patterns: a case study of ANSYS CFX software application for computer modeling. *Journal of Environmental Management*. 2021. Volume 287. P. 112347.

### **Scientific papers, which testify to the approbation of the materials of the dissertation**

6. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Yu., Gabbasova S. M. Kompleksnaja jekologicheski bezopasnaja pererabotka regenerativnoj sery [Integrated environmentally friendly processing of regenerative sulfur]. *Sustainable Development – a look into the future* : proceedings of the seminar, Lviv, 15 of September 2017. Lviv : Lviv State University of Life Safety, 2017. P. 32.

7. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Y., Gabbasova S. M. Assessment of technogenic impact on marine ecosystems during oil production process. *Environmental Protection*.

*Energy saving. Balanced nature management* : proceedings of the 5th International Congress. Lviv : Lviv State University of Life Safety, 2018. P. 57.

8. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Yu., Gabbasova S. M. Environmental problems of development and offshore oil production for the Caspian region of Kazakhstan. *Resource-reproducing, low-waste and environmental technologies of subsoil development* : materials of the XVII International Scientific and Practical Conference. Aktau: Caspian State University of Technology and Engineering named after S. Yessenov, 2018. P. 7–8.

9. Plyatsuk L. D., Gabbasova S. M., Ablieieva I. Y. Doslidzhennia dzherel tekhnohenoho vplyvu na vodni objekty (na prykladi Kaspiiskoho moria) [Research of sources of technogenic influence on water objects (on the example of the Caspian Sea)]. *Problems of environmental safety* : proceedings of the XVI International Scientific and Technical Conference (4-6 of October 2018). Kremenchuk, 2018. P. 74–76.

10. Gabbasova S., Plyatsuk L., Ablieieva I. Biomonitoring application perspectives in decision of the estimation of the Caspian sea environmental state. *Actual Environmental Problems* : VIII-th International Scientific Conference of young scientists, graduates, master and PhD students. Minsk : International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, 2018. P. 98–99.

11. Gabbasova S. M., Ablieieva I. Y. Ekologicheskie problemy Kaspijskogo morja [Environmental problems of the Caspian Sea]. Materials of the International Scientific and Practical Conference of Young Researchers memory of D. I Mendeleev : collection of articles. Volume 2. Tyumen: Tyumen industrial University, 2019. P. 162–164.

12. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Yu., Gabbasova S. M. Environmental problems of the Caspian sea associated with the transportation or production of oil on the continental shelf. *Modern technologies in industrial production* : VI All-Ukrainian interuniversity scientific and technical conference (Sumy, 16–19 of April 2019). Sumy: Sumy State University, 2019. P. 213–214.

13. Plyatsuk L. D., Gabbasova S. M., Ablieieva I. Yu. Methodological approaches to the protection of the Caspian Sea marine environment. *Ecology–2019* : VI All-Ukrainian Congress of Ecologists with International

Participation (25–27 of September 2019). Collection of scientific works. Vinnytsia: Vinnytsia National Technical University, 2019. P. 80.

14. Plyatsuk L. D., Ablicieva I. Yu., Gabbasova S. M. Methodology for calculating the assessment of technogenic load on marine ecosystems (by the example of the Caspian Sea). *Modern technologies in industrial production* : VII All-Ukrainian interuniversity scientific and technical conference (Sumy, 21–24 of April 2020). Sumy: Sumy State University, 2020. P. 211–212.

**Scientific works, which additionally reflect the scientific results of the dissertation:**

15. Patent of Ukraine 146472. Method of bioremediation of oil-contaminated objects / I. Yu. Ablicieva, L. D. Plyatsuk, I. O. Berezhna, S. M. Gabbasova. Sumy State University. № u202005565. Published on 24.02.2021.



## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП.....  | 19 |
| РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ.....  | 25 |
| 1.1 Екологічний стан Каспійського моря: історія, зміни .....                                | 25 |
| 1.2 Видобуток нафти і газу .....  | 28 |
| 1.2.1 Вплив нафтових вуглеводнів на морську екосистему .....                                | 28 |
| 1.2.2 Дослідження забруднення морського середовища .....                                    | 32 |
| 1.3 Вплив сільського господарства та урбанізації.....                                       | 38 |
| 1.4 Наслідки забруднення та оцінка техногенного навантаження на екосистеми Каспію .....     | 44 |
| 1.5 Огляд способів очищення водних екосистем від забруднення нафтою..                       | 49 |
| Висновки до розділу 1 та визначення завдань дослідження .....                               | 55 |
| РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....  | 56 |
| 2.1 Характеристика Каспійського моря як об'єкта дослідження.....                            | 56 |
| 2.2 Дистанційні методи дослідження морського середовища.....                                | 61 |
| 2.3 Підходи до оцінювання техногенного навантаження на морські екосистеми.....              | 64 |
| 2.4 Методи моделювання поширення та трансформації нафти у водному середовищі.....           | 67 |
| 2.5 Методика експерименту (лабораторний стенд).....   | 72 |
| Висновки до розділу 2 .....   | 75 |
| РОЗДІЛ 3 МОНІТОРИНГ КАСПІЙСЬКОГО РЕГІОНУ .....  | 76 |
| 3.1 Постановка задач екологічного моніторингу Каспійського моря .....                       | 76 |
| 3.2 Аналіз забруднень морської поверхні в районах видобутку нафти на морському шельфі ..... | 79 |

|   |  |     |
|---|--|-----|
| 3.3   | Радіолокаційні спостереження забруднень морської поверхні в районах природних виходів вуглеводнів на морському дні .....         | 81  |
| 3.4   | Оцінювання техногенного впливу на морські екосистеми Каспію .....  | 91  |
| 3.4.1   | Системний підхід до оцінювання техногенного навантаження ...   | 91  |
| 3.4.2   | Оцінка впливу на екосистеми за інтегрально-диференційним підходом .....  | 95  |
|   | Висновки до розділу 3 .....  | 96  |
| РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ НАФТОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ..... |  | 98  |
| 4.1   | Розрахунок обсягу нафти, що очищається .....   | 98  |
| 4.2   | Хімічний склад і основні характеристики нафти та нафтопродуктів.....   | 99  |
| 4.3   | Гідродинамічні моделі для розрахунку розтікання нафти та нафтопродуктів .....  | 100 |
| 4.4   | Моделювання початкової стадії розтікання нафти .....   | 102 |
| 4.5   | Обґрунтування біохімічної трансформації складних вуглеводневих сполук за допомогою гібридного біопрепарату нового покоління..... | 106 |
|   | Висновки до розділу 4.....   | 112 |
| РОЗДІЛ 5 СТАЛИЙ РОЗВИТОК КАСПІЙСЬКОГО РЕГІОНУ .....   |  | 113 |
| 5.1   | Фактори, що впливають на сталий розвиток Каспійського регіону.....   | 113 |
| 5.2   | Особливості співпраці прикаспійських держав у сфері забезпечення сталого розвитку Каспійського регіону.....                      | 126 |
| 5.3   | Рекомендації щодо зниження ймовірності виникнення екологічних ризиків в Каспійському регіоні .....                               | 139 |
|   | Висновки до розділу 5 .....  | 140 |
| ВИСНОВКИ .....  |  | 141 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....                       |  | 143 |
| ДОДАТКИ.....  |  | 156 |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Каспійське море є внутрішньою замкненою водоймою, розташованою на значному материковому просторі на межі Європи та Азії. Головною відмінністю Каспію є його мінливість гідрометеорологічних та гідродинамічних режимів, на які впливають як природні, так і антропогенні фактори.

Підвищений інтерес до вуглеводневих запасів Каспію, розвиток видобутку і транспортування нафти, приріст населення у прибережних містах, застосування нових синтетичних речовин у побуті, хімізація сільського господарства і забруднення промисловими відходами безперервно погіршують екологічну ситуацію в Каспійському морі. Наслідком цього є досить напружений, а в деяких місцях катастрофічний характер екологічного стану басейну.

Результати сучасних наукових досліджень підтверджують, що море знаходиться під впливом потужних антропогенних впливів, що призводять до певних негативних екологічних наслідків. Так, окремі райони Каспію вже перетворилися в мертві зони, де майже не зустрічаються риби і безхребетні тварини. Загалом, води Каспійського моря характеризуються як «забруднені».

Особливість його екосистеми, її унікальність вимагають жорстких вимог щодо стратегії екологічної безпеки прикаспійських держав. Освоєння вуглеводного багатства формує благополуччя територій. Особливо актуальною є задача дослідження динаміки руху забруднюючих речовин, прогнозування екологічних ризиків від зовнішньої ситуації нафтогазовидобувних комплексів.

Зростає ймовірність екологічних проблем у Каспійському регіоні, пов'язаних зі зміною інфраструктури промисловості. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває вивчення процесів як природних, так і обумовлених господарською діяльністю зі зміною інфраструктури промисловості, що впливають на екологічну стабільність Каспію та сталий розвиток Каспійського регіону.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота спрямована на вирішення екологічних проблем Каспійського регіону. Робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри екології та природозахисних технологій Сумського державного університету за темою «Зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище підприємств хімічної, машинобудівної промисловості та теплоенергетики (номер держреєстрації 0116U006606) згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки України, у якій автор брав участь як виконавець.

**Мета і завдання дослідження.** *Метою* дисертаційного дослідження є підвищення рівня екологічної безпеки Каспійського моря та реалізація принципів організації раціонального природокористування за рахунок розроблення і впровадження технологій захисту довкілля цього регіону.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено такі *завдання дослідження*:

- провести аналіз екологічного стану Каспійського моря;
- визначити основні фактори, що впливають на сталий розвиток регіону;
- провести екологічний моніторинг Каспійського моря;
- оцінити техногенне навантаження на морське середовище під впливом нафтового забруднення;
- оцінити вплив вуглеводневого забруднення Каспію на підставі даних моделювання;
- розробити технологію захисту навколишнього середовища від нафтового забруднення та утилізації забруднень;
- розробити рекомендації щодо зниження виникнення екологічних ризиків;
- розробити рекомендації щодо створення регіональної системи екологічної безпеки.

**Об'єкт дослідження** – техногенне забруднення Каспійського регіону під час освоєння природних ресурсів Каспію.

**Предмет дослідження** – зниження антропогенного впливу, викликаного техногенною діяльністю в Каспійському регіоні.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження дисертаційної роботи ґрунтуються на класичних методах наукового пізнання: аналіз інформації, синтез, аналогія та наукове узагальнення літературних джерел; системний та інтегрально-диференційний підходи до оцінювання техногенного навантаження на морські екосистеми. У процесі експериментальних досліджень використані такі методи: статистичний (для аналізу динаміки розливу нафти у морське середовище), космічних спостережень (для аналізу багаторічних даних за моніторинговими дослідженнями із використанням стандартних відпрацьованих програм, таких як «Ураган», супутниковий сервіс SeetheSee (STS)), екологічного моніторингу (для прогнозування динаміки забруднення морського середовища), спектральні (для дослідження морфології мікробних препаратів використовували світлову та електронну растрову мікроскопію), біохімічні (для культивування нафтодеструктивних бактерій), аналітичні (для контролю реакції середовища використовували методи рН-метрії).

Моделювання та оброблення експериментальних даних здійснено за допомогою спеціального програмного забезпечення Microsoft Excel, Google Earth Pro, Statistica 12.0, MatLab 7.8.0 (ліцензовані).

**Наукова новизна одержаних автором результатів.** Наукова новизна одержаних результатів полягає у застосуванні комплексного підходу до виявлення, оцінювання та зниження техногенного впливу на морське середовище Каспійського регіону. У роботі одержані такі нові наукові результати:

– вперше для зниження техногенного навантаження на Каспійське море проведений комплексний аналіз екологічних проблем, що дозволив виявити річковий стік як переважаюче джерело забруднення морського середовища нафтопродуктами, пестицидами та важкими металами;

– вперше на підставі проведеного екологічного моніторингу Каспійського моря із урахуванням його екологічного стану методами дистанційного зондування визначені техногенно напружені зони та одержано дані динаміки нафтового забруднення морського середовища;

– вперше для оцінювання техногенного навантаження на Каспійське море з використанням інтегрально-диференційного методу розроблено систему індикаторів та сигнальних показників якості, що враховує як фізико-хімічні властивості абіотичної компоненти екосистеми, так і параметри еколого-трофічних груп біоти;

– вперше з метою підвищення екологічної безпеки Каспійського моря під час утилізації нафтових забруднень встановлено закономірності зміни показників рН та газоутворення процесу деструкції нафтових вуглеводнів після внесення гібридного біопрепарату, одержаного на основі біохімічних відходів;

– вперше розроблені заходи щодо запобігання загроз екологічної безпеки та попередження екологічних ризиків в Каспійському регіоні та запропоновані варіанти удосконалення нормативної бази, яка регламентує екологічну безпеку регіону;

– набули подальшого розвитку гідродинамічні моделі розтікання та розливу нафти, що дозволили визначити об'єм і площу нафтової плівки для прогнозування масштабів аварійних розливів нафти в море і зону максимального ураження екосистеми.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

1. На підставі проведеного екологічного моніторингу Каспійського моря запропоновано комплекс заходів щодо забезпечення екологічної безпеки та сталого розвитку Каспійського регіону.

2. Обґрунтовано біохімічний спосіб ліквідації нафтових розливів як найбільш ефективний, у результаті чого розроблено та одержано біопрепарат у формі гранул, що містить іммобілізовані активні штами мікроорганізмів, які володіють нафтодеструктивною здатністю. Запропонована технологія утилізації нафтових забруднень із використанням гібридного біохімічного препарату показала високу ефективність деструкції нафти та нафтопродуктів (Додаток Б).

3. Реалізовані рекомендації щодо розробки нормативних та методичних матеріалів забезпечення екологічної безпеки та правових відносин прикаспійських держав.

4. Розроблені заходи щодо зниження потенційного екологічного ризику від техногенного впливу антропогенного походження, що дає можливість підвищити рівень екологічної безпеки Каспійського регіону.

5. Результати дослідження впроваджено в навчальний процес кафедри екології та природозахисних технологій Сумського державного університету під час викладання дисциплін «Техноекнологія» та «Міжнародне співробітництво в галузі екології» (акт впровадження від 31 травня 2021 року – Додаток В).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертаційна робота є завершеним дослідженням у науковому напрямку технологій захисту навколишнього середовища. Основні положення, розроблення та обґрунтування наукової новизни та практичного значення дисертаційної роботи отримано автором самостійно.

Висновки та рекомендації для практичного впровадження результатів дослідження у вигляді рекомендацій щодо застосування технологій захисту морської акваторії від техногенного навантаження та рекомендацій щодо зниження виникнення екологічних ризиків були сформульовані разом із науковими керівниками – д-р техн. наук, проф. Л. Д. Пляцуком та канд. техн. наук І. Ю. Аблєєвою. Внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві, наведений у списку праць за темою дисертації (Додаток А).

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення, наукові та практичні результати дисертації доповідалися та обговорювалися на наукових конференціях: семінарі «Сталий розвиток – погляд у майбутнє» (м. Львів, Львівська політехніка, 15 вересня 2017 р.); XVII Міжнародній науково-практичній конференції «Ресурсовідтворюючі, маловідходні та природоохоронні технології освоєння надр» (Казахстан, м. Актау, 17–20 вересня 2018 р.); 5-му Міжнародному конгресі «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (м. Львів, Львівська політехніка, 26–29 вересня 2018 р.); XVI Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки» (м. Кременчук, 4–6 жовтня 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції молодих дослідників ім. Д. І. Менделєєва, присвяченій 10-річчю Інституту промислових технологій та інжинірингу «Екологія та безпека»

(м. Тюмень, 22–26 жовтня 2018 р.); VIII-th Міжнародній науковій конференції молодих вчених, випускників, магістрів та аспірантів «Актуальні екологічні проблеми» (Білорусь, м. Мінськ, 22–23 листопада 2018 р.); VI Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 16–19 квітня 2019 р.); VI-й Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю «Екологія–2019» (м. Вінниця, 25–27 вересня 2019 р.); 9-й Міжнародному молодіжному науковому форумі «Litteris et Artibus» (м. Львів, 21–23 листопада 2019 р.); VII Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 21-24 квітня 2020 р.).

**Публікації.** Результати дисертаційних досліджень опубліковані у 15 наукових працях: 5 статей, з яких 3 – у наукових фахових виданнях із переліку МОН України з технічних наук, 1 – у закордонному науковому виданні, що індексується наукометричними базами даних, 1 – у збірнику статей конференції, 9 тез доповідей у матеріалах конференцій, одержано патент на корисну модель.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, 4 додатки. Загальний обсяг роботи становить 164 сторінки, з яких 124 сторінки основного тексту. Дисертаційна робота містить 34 рисунки, 5 таблиць за текстом, список використаних джерел у кількості 132 найменування на 14 сторінках. Додатки розміщені на 8 сторінках.



## РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### 1.1 Екологічний стан Каспійського моря: історія, зміни

Каспійське море – найбільша внутрішня водойма у світі, яка не має виходу в океан. Площа її поверхні й об'єм складають близько  $4 \times 10^5$  /  $\text{км}^2$  і  $7,8 \times 10^4$   $\text{км}^3$ . Протяжність із півночі на південь складає близько 1200 км, а ширина зі сходу на захід – близько 310 км. Каспійське море ділиться на північну, середню й південну частини [1].

Сучасне Каспійське море виникло як частина давнього, солонуватого Причорноморського озера-моря 5–7 мільйонів років тому. У пізньому мезозої й ранньому палеоцені море Тетіс займало територію теперішніх Середземного, Чорного й Каспійського морів. Протягом палеоцену й неоцену Чорне й Каспійське моря поєднувалися та розділялися кілька разів. У ранньому пліоцені Каспійське море було вперше відокремлене від Чорного моря. Відповідно, основна морська фауна була частково знищена, а частково змінена. У середньому пліоцені Каспійське море було повністю ізольоване від Чорного моря. Розвиток басейнів Каспійського й Чорного морів, а також їх фауни тривав незалежно ще з того часу. Типова солонуватоводна фауна Каспію, яка тоді сформувалася, зберігається до сьогодні.

Каспійське море на основі результатів батиметрії можна розділити на три частини. Північний Каспій власне досить мілководний, низьке продовження Північно-Каспійської рівнини, із товщею води всього кілька метрів. Середній Каспій досягає глибини 788 м. Розрив шельфу між Північним і Середнім Каспієм називається Мангішлацьким порогом. Південний Каспій досягає глибини 1025 м і відділений від Середнього Каспію Апшеронським краєм, який утворює підводний човен – зв'язок між Великим Кавказом і Гірські хребти Копетдагу. Апшеронський поріг – місце інтенсивних вуглеводневих вибухів, раціон і виробництво. Хоча Каспійське море – найбільша внутрішня водойма на землі,

проте не вистачає деяких характеристик океану. Відповідно, тут практично немає припливів і відливів, чистота становить лише третину від морської води (до 13 г/л). Площа поверхні моря становить близько 27 м, що нижче рівня океану (усі дані про рівень моря відносяться до рівня океанічних даних, що представлені в Росії) [2, 3].

Сьогодні екологічне становище Каспію викликає серйозну занепокоєність, особливо в шельфовій, мілководній зоні моря [4]. Перш за все, це стосується Північного Каспію, де можна виділити чотири основних джерела забруднення:

1. Річки, що впадають безпосередньо в море і переносять забруднювачі із величезних територій з розвиненим промисловим і сільськогосподарським виробництвом. Звичайно, по-перше, говоримо про річки Волга і Урал, водозбірні басейни яких складають 1380 тис. і 273 тис. км<sup>2</sup> відповідно.

2. Міста і промислові об'єкти, розташовані в прибережній зоні. На берегах Північного Каспію, в російській та казахстанській частинах досить розгалужена міська й промислова інфраструктури.

3. Об'єкти видобутку і транспортування нафти на морі. На Північному Каспії йде інтенсивне освоєння родовищ і прокладання трубопроводів, що неминуче супроводжується скиданням нафтових відходів та інших видів забруднювачів.

4. Затоплені та підтоплені, погано законсервовані об'єкти нафтогазовидобування, що виникли внаслідок багаторічних коливань рівня Каспійського моря.

Прибережна промисловість і річкові води водночас «постачають» морські води, відкладення на дні, тканини і органи птахів, риб і тюленів підвищеними концентраціями важких металів: хрому, міді, свинцю, ртуті, цинку і т. д. У морських водах Північного Каспію середня концентрація кадмію та свинцю за останні 20 років збільшилася майже у 5 разів, міді і цинку – у 10 разів. Високий вміст металів відзначається також у відкладеннях на дні. Спостерігається збільшення за останні роки концентрації ртуті. В окремих зразках, особливо з придонних шарів, вміст міді, хрому, нікелю досягали показників, що в 1,5–2 рази перевищують гранично допустиму концентрацію (концентрація міді досягала

3–5 ГДК). Хоча в середньому концентрація цих металів допоки не перевищує гранично допустиму, встановлену для рибогосподарських водойм. Проте сьогодні, на стадії облаштування морської нафтовидобувної інфраструктури, якість вод у родовищах оцінюється як «помірно забруднені» (індекс забруднення води близько одиниці, 3 клас).

Додаткове навантаження на екосистему несуть відходи сільськогосподарської діяльності. Поблизу гирла річок Північного Каспію спостерігається дворазове, порівняно з 1986 роком, збільшення концентрації пестицидів і хлористо-органічних сполук. Збільшення масштабів використання мінеральних добрив і зростання обсягів стічних вод викликали підвищення концентрації розчиненого фосфору й азоту.

Безсумнівно, основним забруднювачем морської води (як поверхневих, так і придонних шарів) є вуглеводні. За даними моніторингу, щорічно спостерігалось перевищення ГДК нафтопродуктів у межах 1,1–1,3 ГДК. Крім вуглеводнів постійно прослідковується підвищений вміст ароматичних органічних сполук – фенолів, їх концентрація варіюється від 2 до 9 ГДК. Безперечно, з початком повномасштабного видобутку нафти якість морської води значно погіршиться, що негативно позначиться на екосистемі моря і регіону в цілому [5].

Екологічні проблеми Каспію і його узбережжя є наслідком усієї історії екстенсивного економічного розвитку в країнах регіону. На цьому позначаються як довгострокові природні зміни (вікові коливання рівня моря, зміна клімату), так і соціально економічні проблеми сьогодення (економічні кризи, регіональні конфлікти, розвиток видобутку нафти і т. д.). Облік і дослідження техногенних факторів забруднення акваторії Каспійського моря, їх взаємозв'язок із природним середовищем – складне і багатофакторне завдання. Воно вимагає інформаційної підтримки різних факторних даних і застосування сучасних методів їх аналізу.

Таким чином, процеси, що формують екосистему Північного Каспію у природних умовах і, тим більше, у стані стресу при надзвичайних ситуаціях нафтового розливу настільки складні, різноманітні і взаємозалежні, що прогнозувати їх розвиток у кількісних співвідношеннях фактично неможливо.

Стохастичний характер цих процесів досить очевидний. Їх статистичний опис, тобто визначення не випадкових характеристик цих випадкових процесів, потребують виконання величезної кількості моніторингових та експедиційних спостережень на єдиній методичній основі. Сьогодні це неможливо, тому необхідно спиратися на приблизні оціночні характеристики типу часу відновлення, уразливості і чутливості до нафтового забруднення. Звичайно, наразі, ці величини визначені на інтуїтивному рівні, проте їх чітке формулювання в контексті стохастичної моделі дозволить досить обґрунтовано оцінити ризики ураження біоти при аварійних нафтових розливах [6].

## **1.2 Видобуток нафти і газу**

### **1.2.1 Вплив нафтових вуглеводнів на морську екосистему**

В останні десятиліття Каспійське море є одним із найважливіших у світі районів розвідки і видобутку вуглеводневих ресурсів. У той же час Каспій має сформовані морські екосистеми з різноманітними флорою і фауною, зокрема найцінніші популяції осетрових (*Acipenseridae*) і каспійського тюленя (*Phocacaspia*). Освоєння нафтогазових покладів Каспію є основним фактором антропогенного навантаження на компоненти навколишнього середовища. Сучасна еколого-географічна ситуація на Каспії формується з численних природних і антропогенних факторів. З огляду на те, що Каспійське море займає домінуюче становище в Південно-Західній Азії і відіграє важливу роль у зміні клімату в цій частині світу, необхідно вести постійний моніторинг стану цієї екосистеми. Проведення конкретних заходів щодо збереження екосистеми Каспію має відповідати критеріям екологічної безпеки.

Довгостроковий моніторинг стану навколишнього середовища Каспійського моря дозволив визначити основні антропогенні фактори забруднення вод і відкладень на дні (річковий стік, видобуток нафти і газу на морському шельфі, скидання промислових і комунальних стічних вод і сміття і т. д.) та встановити сезонну динаміку. Забруднення моря нафтою також відбувається при підземному

і підводному ремонті вже діючих свердловин, аварійних розливах нафтопроводів, необхідного очищення стічних вод на нафтопромислових і нафтопереробних підприємствах. Однак найбільшого забруднення нафтопродуктами моря завдає морський нафтовидобуток, який, як відомо, на Каспії здійснюється з кінця 1940-х років у районі Апшеронського півострова, а пізніше – в районі півострова Челекен. У 1980-і роки почалася експлуатація нафтових родовищ на узбережжі північної частини моря: Каламкас, Каражамбас і Тенгіз, що належать Республіці Казахстан. Нині зменшилося потрапляння нафтопродуктів у море з річковими стоками і зросло за рахунок розширення морського нафтовидобутку.

У той же час нафтові вуглеводні – це невід’ємний природний компонент морського середовища. Близько 200 тис. тонн нафти в рік може надходити в море з розломів земної кори за рахунок природних виходів. Необхідно враховувати і можливість виникнення техногенної сейсмічності в місцях розробки нафти і газу, подібні приклади є. Крім того, у морське середовище потрапляють вуглеводні, близькі або ідентичні нафтовим, що утворюються при розкладанні морських організмів.

Особливу занепокоєність викликає періодичне (внаслідок наганяння вітром) і постійне (внаслідок підйому рівня моря) обводнення нафтогазового комплексу. Повністю затоплено родовища Східна Кокарна, Тажигалі, Прибережне, Пустельне, Морське. Консервація та ліквідація затоплених свердловин виконані без урахування можливого пошкодження переміщеннями криги, без ізоляції від морських агресивних вод, часом простим закриттям заглушок свердловин. Такі свердловини є потенційно небезпечними і найближчим часом можуть привести до значних розливів нафти з непередбачуваними наслідками для біоти моря й значними труднощами щодо їх ліквідації. Наприклад, у березні 2001-го року внаслідок руху криги стався прорив нафти на трьох свердловинах родовища Прибережне, що зафіксовано на космічних знімках (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Космічні знімки QuickBird за 13 серпня 2002 р. (зліва),  
за 10 травня 2002 р. (справа)

Однак головну небезпеку становить можливість великого аварійного розливу в акваторії Північного Каспію. Такий сценарій не є абсолютно нереальним. Особливу занепокоєність викликає найбільше за світовими масштабами Кашаганське родовище. У ньому зосереджено до 6 млрд тонн агресивних високосірчаних вуглеводнів, пластовий тиск становить 770 атмосфер, температура досягає 110–1200 °С. Для заповідної зони Казахстанської частини Північного Каспію аварія на такому родовищі під час видобутку і транспортуванні нафти може мати катастрофічні наслідки [7].

Є кілька механізмів шкідливого впливу нафтових розливів на морську біоту:

1. Нафта, яка потрапляє у море, як поверхнево активна речовина (ПАР), розтікається плівкою різної товщини всією поверхнею води. При цьому порушується енерго- і масообмін між водою й атмосферою. Плівка нафти навіть мінімальної товщини від 0,05 до 2,5 мікрон удвічі зменшує надходження кисню в товщу води. Підвищення температури й дефіцит розчиненого у воді кисню порушують нормальні біологічні процеси у водоймах і призводять до загибелі нерухомих і малорухомих морських популяцій.

2. У результаті фізико-хімічних перетворень нафта у вигляді емульгованих частинок проникає в товщу води, сповільнюючи ріст водоростей, пригнічуючи життєдіяльність риб і морських ссавців за рахунок прямої інтоксикації і руху токсичних речовин харчовим ланцюжком. Це викликає незворотні наслідки у складі біоценозів, порушує харчові та інші взаємини між організмами. Найбільше страждають прибережні води, багаті зародками, личинками і молоддю, і, особливо, очеретяні зарості, які служать на Північному Каспії розвідниками багатьох видів морських тварин.

3. Важкі фракції нафти, осідаючи на дні, викликають вторинне забруднення водойм, що призводить до розбалансування біоценозу бентосу, зниження продуктивності, а часто до припинення життєдіяльності основних груп гідробіонтів – бентосу, нектобентосу, плейстону і ін. Лише поодинокі види водоростей і мохуваток витримують нафтове забруднення, але навіть ці види виживають при низькому рівні нафтового забруднення.

4. ПАР властивості нафти проявляються в чисто механічному обволіканні предметів і тіл організмів. Плівка на поверхні живих істот, навіть якщо не призведе до негайної смерті, то неминуче зумовить кисневе голодування організмів і біоценози, інтоксикацію продуктами життєдіяльності. Нафтова плівка задає значної шкоди морським птахам: нафтопродукти, потрапляючи на пір'я птахів, позбавляють їх можливості літати, а також розчиняють жири на пір'ї, що зумовлює переохолодження і їх загибель.

Незважаючи на відносно малі втрати вуглеводнів при їх видобутку на шельфі, аварійні ситуації на бурових установках залишаються доки неминучими. Тут відзначимо, що при аварійних і технологічних викидах нафтопродуктів у море з бурових установок забруднення носить здебільшого локальний характер. Однак поблизу джерела концентрація нафтових вуглеводнів може в десятки і сотні разів перевищувати норму. У середньому при освоєнні родовищ у морське середовище надходить від однієї свердловини 30–120 т нафти. У випадках, коли локальне забруднення стає постійним, нафтопродуктами забруднюється не тільки вода, але й донні відкладення. Дослідження виявили залежність токсичного впливу стічних

вод, бурових розчинів і шламів на організми Каспійського моря від їх складу і умов проживання. Нафтові вуглеводні в концентрації 0,05–0,5 мг/л, як правило, не впливають на морські організми, якщо їх токсична дія не підсилюється дією інших токсикантів. При цьому майже у всіх тканинах і органах спостерігаються фізіологічні та біохімічні зміни, які завдають незворотного впливу при збільшенні концентрації нафти від 0,5 до 50 мг/л. Навіть при досягненні найнижчої межі цього інтервалу (0,5–1,0 мг/л) зміни фізіологічних і біохімічних показників супроводжуються порушеннями росту й розвитку, а також плодючості риб, що проявляється досить часто й у наступних поколіннях.

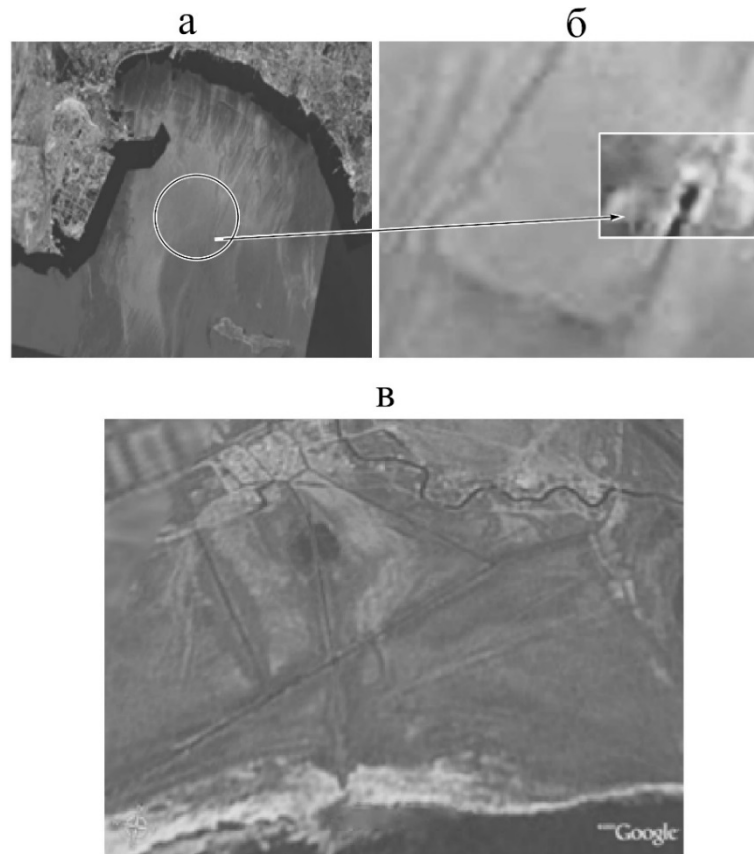
Таким чином, виділяємо лише пряму шкоду, яка завдається нафтовим забрудненням морській біоті. Більш чутливі організми поступово вимирають, менш чутливі існують у пригніченому стані. Це, водночас, призводить до збіднення та зміни складу біоценозів, розвитку чужорідних, шкідливих і, часто, небезпечних для сформованої біоти організмів. У результаті чого відбувається втрата біорізноманіття, зникнення ендеміків і поява агресивних занесених видів.

### **1.2.2 Дослідження забруднення морського середовища**

З розвитком геоінформатики та геоінформаційних технологій з'явилися потужні інструменти для збору, систематизації й аналізу багатofакторної інформації в аспекті проведення екологічного моніторингу, забезпечення інформаційної підтримки щодо прийняття управлінських рішень для оцінки та сталого розвитку прибережних територій. Таким чином, дані дистанційного зондування (ДЗ) є реальними джерелами інформації, а геоінформаційні системи (ГІС) – засобом їх аналізу та інтеграції з іншими джерелами даних.

При детальному аналізі космічного знімка з високою роздільною здатністю (SPOT 5) можна спостерігати місця викидів із каналізаційних труб і потоки забруднення, що виносяться в море (рисунок 1.2 а, б).





а – загальний космічний знімок SPOT 5 (контуром зображена каналізаційна труба); б – збільшений фрагмент, де показано факел викидів з каналізаційної труби; в – поширення викидів з головного міського колектора (темні плями)

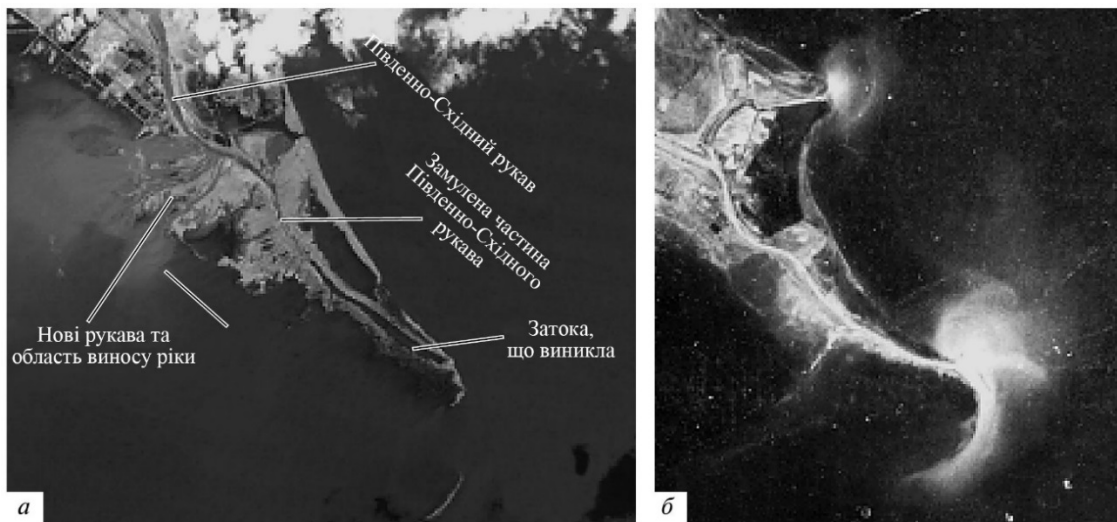
Рисунок 1.2 – Космічні знімки SPOT 5

При зіставленні з картографічним матеріалом розташування найбільш забрудненої морської води збігається з місцем викидів із каналізаційних труб. На рисунку 1.2 в темною плямою ідентифікується поширення викидів із основного міського колектора. На знімку можна виділити поширення викидів (світла широка смуга) від берега в індустріальному районі прибережної зони.

Аналізуючи отримані знімки, відмічаємо, що забруднювачі можуть перебувати далеко від узбережжя, але в результаті наявності каналів, каналізаційних труб підприємств, міських колекторів, а також сільськогосподарської діяльності вони потрапляють у море.

Прибережна територія Каспійського моря постійно зазнає значних техногенних і природних навантажень. На рисунку 1.3 а зображена зона

поширення річкового стоку р. Кура в прибережній частині моря. За даним знімку було визначено, як змінилося русло дельти річки в результаті замулення її нижньої частини порівняно з 1992 роком (рисунок 1.3 б).

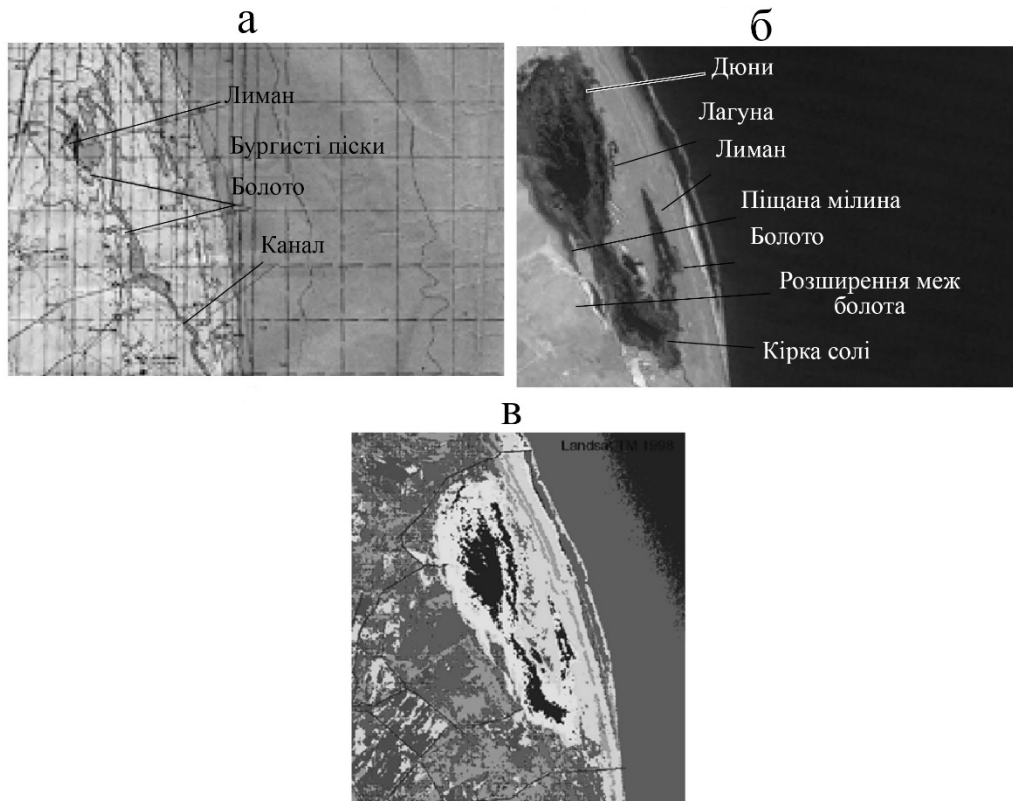


а – замулення головного рукава, утворення заливу, в наслідок русло змінює напрямок стоку; б – виведення річкових насосів з двох основних рукавів річки в 1992 році до підняття рівня моря

Рисунок 1.3 – Моніторинг дельти р. Кура

За відсутності замулення в 1992 році основний річковий сток здійснювався з кінців двох рукавів, проте в 1998 році за знімком Landsat TM уже спостерігається утворення протоки в кінці головного рукава, причиною чого стало підвищення рівня моря. Результатом цього процесу є замулення в кінці головного рукава дельти річки, і русло річки тут змінює свій напрямок. Безсумнівно, роль архівних знімків для порівняльного аналізу та виявлення динаміки берегової лінії дуже важлива, так як вони є джерелом достовірної інформації.

Розглянемо в цьому плані динаміку берегової лінії в Північній частині прибережної зони азербайджанської території Каспійського моря. На рисунку 1.4 в показаний класифікований знімок Landsat TM 2004 року території навколо лиману в Північній частині узбережжя. Особливо добре підкреслено наявність лагун, які утворилися в результаті підняття рівня моря.



а – топографічна карта місцевості 1982 р.;

б – знімок Landsat TM 1998 р.; в – класифікований знімок Landsat TM 2004 р.

Рисунок 1.4 – Космічні знімки узбережжя Каспійського моря

При порівнянні з топокартою 1982 року (рисунок 1.4 а) і знімком Landsat TM 1998 року (рисунок 1.4 б), можна спостерігати динаміку берегової лінії в результаті підняття рівня моря. На топокарті видно суцільну берегову лінію. На рисунку 1.4 б видно берег лиманного типу, берегова лінія змінена лагуною, піщаними мілинами, добре простежуються дюни. Збільшилася площа болота, навколо лиману з'явилися кірки солі і засолені ґрунти. У цьому випадку змінився ландшафт прибережної зони (поєднання лиманного типу берега в 1982 році на лиманний і лагунний в 1998 році). Аналіз сучасного стану об'єкта за знімком SPOT 5 (2007 року) з Google Earth засвідчує, що цей процес триває (збільшилася площа заболочування навколо лиману, площа лагуни збільшується вглиб суші).

Варто наголосити, що значно збільшують рівень забруднення не досить часті аварії (про них найчастіше згадується саме завдяки ЗМІ), а морський транспорт і стандартні операції з ним, які складаються з мийки танків, викидів баластних вод

і часто цілком легальні викиди різних рідких відходів, що містять різноманітні маслянисті речовини, що утворюються на судах. Крім того, було встановлено, що маслянисті плями (плівки), що плавають морською поверхнею, не завжди є плямами нафти або нафтовим забрудненням. У зв'язку з цим, використовувати поняття «нафтове забруднення» некоректно [9].

Відтак, розглядаючи три головних параметра забруднень – форму, положення і контекстне наповнення, а також з огляду на класифікацію плівок за товщиною, усі плівкові утворення, детектовані на радіолокаційних зображеннях (РЛЗ), можна розділити на п'ять основних категорій:

1. Біогенні сліки, що утворюються в процесі життєдіяльності морської флори і фауни. Їх формують дуже тонкі мономолекулярні/бімолекулярні плівки, які мають товщину близько 2–3 нм і візуально виглядають безбарвними. Біогенні плівки можуть бути виявлені всюди, але найчастіше – у прибережних водах і зонах. Вони зазвичай з'являються у вигляді довгих (десятки-сотні кілометрів квазіпаралельних, викривлених або спіральних смуг, які дрейфують під дією течій, і дуже рідко – як окремі щільні плями. Також часто формують так звані філаменти – ниткоподібні сліки, а їх скупчення – муарові смуги, які детектуються на оптичних знімках слабого вітру (1–3 м/с).

2. Сира нафта і важкі нафтопродукти, зокрема емульсії. Їх плівка досить товста і може досягати товщини на морській поверхні в кілька міліметрів, має колір від темно-коричневого до металеві-сірого. Сира нафта здатна також формувати на морській поверхні емульсії, які можуть містити до 80 % води, забарвлені від світло-коричневого до оранжевого. Форми і розмір плям нафти і нафтопродуктів досить різноманітні. Ці забруднення можуть з'явитися поблизу нафтових платформ, плавучих сховищ, терміналів, трубопроводів, свердловин, інших діючих або занедбаних об'єктів нафтогазового комплексу (НГК).

3. Суднові розливи мають характерні лінійну або квазілінійну форми (рисунок 1.5), головним чином через рух судна; зазвичай вони прив'язані до якогось певного судна або суднової траси і можуть бути утворені: 1) баластними водами, що містять сліди нафти або нафтопродуктів; 2) танкерними мийними

водами, які можуть містити різні суміші масляних (нафтових) та інших рідких продуктів із хімічними реагентами, емульгаторами та поверхнево-активними речовинами; 3) водами машинного відділення, що містять залишки суднового палива і паливно-мастильні матеріали; 4) лляльними (трюмними) водами, які можуть містити різні нафтопродукти, індустріальні масла та інші рідкі забруднення; 5) рідкими відходами рибальства і рибопереробки; 6) іншими судновими стічними водами з різних систем судна, які можуть містити будь-які біогенні або мінеральні масла. Ці речовини формують плівки товщиною від середніх до тонких –  $0.03 \times 10^{-3}$ – $50 \times 10^{-3}$  мм; на оптичних знімках вони візуально мають колір від металево-сірого до сріблясто-сірого.

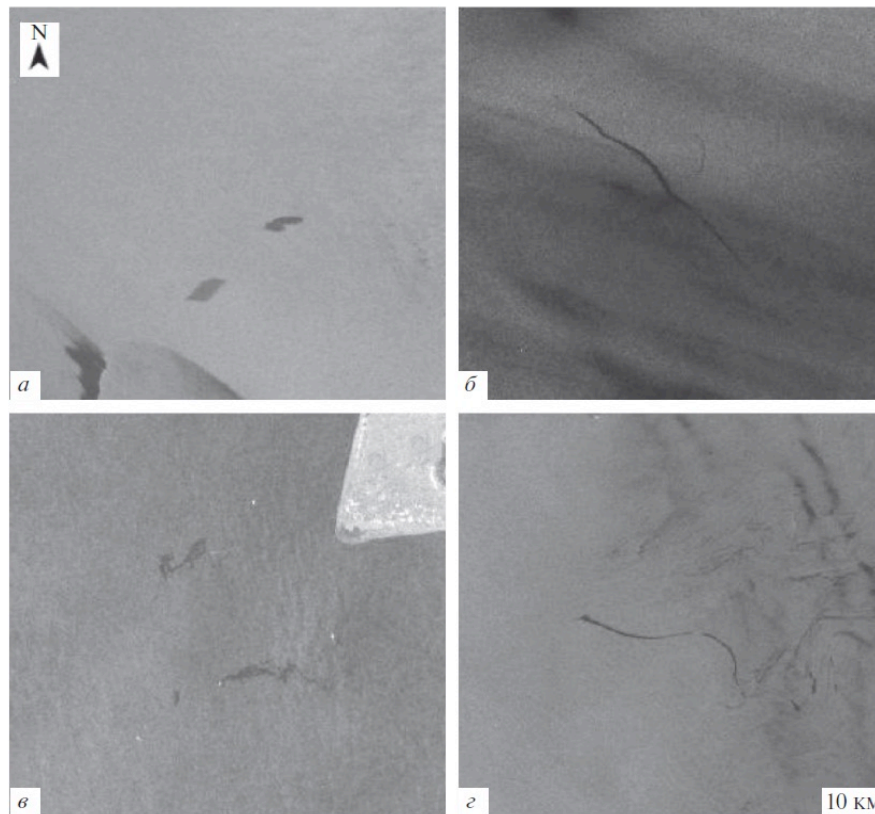


Рисунок 1.5 – Приклади плівкових забруднень, виявлених у Каспійському морі

4. Природні нафтопрояви зазвичай знаходять у районах із відомою або прогнозованою активністю природних джерел нафти. Ці нафтові плями видно на однорідному фоні морської поверхні та на радіолокаційних засобах, коли вітер не

перевищує 5-7 м/с. Така нафта створює на поверхні моря характерні плями-сліки, сформовані з плівок товщиною від  $0.04 \times 10^{-3}$  до  $5 \times 10^{-3}$  мм, які візуально є райдужними і сріблясто-сірими. Форма таких плям-сліків на поверхні змінюється від простої (лінійної) до складної, що утворюється за певних гідрометеорологічних умов.

5. Інші плівкові утворення на морській поверхні складаються з різноманітних плям-сліків, ідентифікація яких часто вкрай утруднена або навіть неможлива.

Як було встановлено в результаті лабораторних і натурних спостережень, перехід нафтових вуглеводнів із відкладень на дні у воду для дрібнодисперсних ґрунтів не перевищує 10 %. Сорбція нафтових вуглеводнів із забрудненої води в чистий ґрунт має той же порядок, а кінцевий вміст нафтових вуглеводнів у воді не перевищує 0,5 мг/л. Проте у глибоководних районах моря такий обмін нафтовими вуглеводнями практично не відбувається, і ця складова при розрахунку балансу нафтових вуглеводнів може не враховуватися для глибоководних районів. При цьому рівень вторинного забруднення води прямо пропорційний забрудненості ґрунту. Це значною мірою залежить від складу відкладень на дні. Таким чином, знаючи склад цих відкладень і вміст в них нафтових вуглеводнів, можна розрахувати потенційну можливість вторинного забруднення в мілководних районах [10].

### **1.3 Вплив сільського господарства та урбанізації**

Значно впливають на забруднення Каспійського моря промислові стоки. Ця проблема пов'язана з водоочисними спорудами, які через економічні труднощі не модернізувалися, і якщо вони взагалі функціонують, то є вкрай неефективними. Значних районів Каспійського моря, таких як його північна, середня і південно-східна частини, не торкнулися нафтові забруднення, проте вони є серйозною проблемою на всьому Апшеронському півострові Азербайджану, у водах поблизу Хазара в Туркменістані і в Атирау, у Казахстані [11] (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Забруднюючі навантаження від річок, міст і промисловості прикаспійських країн [11]

| Країна       | Джерело                | БСК, т/г  | Азот, т/г | Фосфор, т/г | Нафта, т/г |
|--------------|------------------------|-----------|-----------|-------------|------------|
| Азербайджан  | Річки                  | 36,000    | 19,000    | 1,000       | 600        |
|              | Муніципальні утворення | 38,000    | 13,000    | 3,300       | 9,400      |
|              | Промисловість          | 7,100     | 1,100     | 300         | 14,000     |
| Іран         | Річки                  | 49,500    | 12,000    | 1,200       | 400        |
|              | Муніципальні утворення | 68,000    | 16,000    | 4,400       | 7,800      |
|              | Промисловість          | 28,200    | 600       | 210         | 12,500     |
| Казахстан    | Річки                  | 13,200    | 6,000     | 600         | 400        |
|              | Муніципальні утворення | 800       | 500       | 100         | 200        |
|              | Промисловість          | 2,900     | 7,100     | 100         | 1,800      |
| Росія        | Річки                  | 807,900   | 805,000   | 87,500      | 73,100     |
|              | Муніципальні утворення | 16,000    | 5,000     | 1,400       | 3,800      |
|              | Промисловість          | 4,900     | 300       | 100         | 8,900      |
| Туркменістан | Річки                  | 0         | 0         | 0           | 0          |
|              | Муніципальні утворення | 1,600     | 400       | 100         | 100        |
|              | Промисловість          | 1,500     | 100       | 3,970       | 5,400      |
| Всього       |                        | 1,075,600 | 886,100   | 104,280     | 138,400    |

**Примітка:** БСК – Біологічне споживання кисню.

**Джерело:** транскордонний діагностичний аналіз Каспійського моря, 2002 р.

Хоча випадкові розливи контролювати складно, удосконалені технології і навчений персонал могли б зменшити ризик великих катастроф і окремих невеликих розливів у майбутньому. Для запобігання витоку зі старих або покинутих нафтових свердловин вкрай необхідна модернізація технологій та інфраструктури.

У цілому прийнято вважати, що основна частина загального забруднення надходить в Каспій із річок Волги, Уралу і Кури. Частка забруднення з річок Атрек, Самур та інших в Ірані відносно невелика, хоча їх вплив на регіональному рівні досить значимий враховуючи особливості водообміну. Характерною рисою цього регіону є й те, що основна маса токсичних речовин з Волги осідає в її дельті і прилеглий прибережній зоні, відтак як токсичні речовини річки Урал – в заболоченій екосистемі мілководної північної частини Каспійського моря.

У Північно-Східному Прикаспію, зокрема Астраханська й Атирауська області, розробляються ресурси родовищ нафти і газу – Астраханське, Тенгіз і

Східний Кашаган. У Мангістауській області розвідано 69 родовищ, із них на 27 ведеться видобуток нафти та газу [12, 13]. На території Туркменістану найбільшими промисловими майданчиками в прибережній зоні Каспію є Туркменбашинський комплекс нафтопереробних заводів (ТКНПЗ), Нафтобаза Кенарі, ТЕЦ, морський порт в м. Туркменбаші, Хазарський хімічний завод (м. Хазар), виробниче об'єднання «Гарабогазсульфат» (м. Бекдаш). Актуальною залишається проблема очистки в м. Туркменбаші бухти Соймонова площею 8 км<sup>2</sup>, яка відокремлена від моря дамбою [14, 15].

Стосовно сільського господарства, то хімічні матеріали, які використовують у добривах та пестицидах, у своєму складі містять хлор пестициди, особливо дихлордифенілтрихлоретан і гексахлорциклогексан. Ці речовини переважно використовуються малими фермерськими господарствами уздовж узбережжя Каспійського моря і в його прісноводних дельтах в Азербайджані, Ірані та Туркменістані. Внаслідок цього збільшилися стоки цих забруднювачів у Каспійське море. Новостворені ферми також залежать від застосування високих доз пестицидів і від зрошення для отримання достатнього врожаю. Сьогодні екологічно шкідливі пестициди й дешеві, й легко доступні на місцевому ринку всього Внутрішньокаспійського економічного регіону (ВЕР), водночас нові й менш шкідливі альтернативи відносно дорогі, тому нечасто використовуються небагатими фермерами.

Отже, значної шкоди водним об'єктам завдає сільське господарство за рахунок, переважно, стоку з полів використаних хімікатів типу добрив і пестицидів. Через ігнорування встановленої відсоткової норми та легку розчинність мінеральні добрива, що є солями неорганічних кислот (нітратами, фосфатами калію і амонію), мігрують в поверхневі й підземні води. Наслідком їх впливу є підвищення вмісту біогенних елементів у воді, бурхливий розвиток синьо-зелених водоростей, що викликає «цвітіння води» і протікання процесу евтрофікації. Найнебезпечнішими з позицій екологічної безпеки є фосфор- і хлормісткі пестициди, у складі яких є високотоксичні органічні речовини, особливо дихлордифенілтрихлоретан і гексахлорциклогексан. При концентрації в



навколишньому середовищі 0,1 мкг/л дихлордифенілтрихлоретан здатний пригнічувати ріст і фотосинтез зелених водоростей. Особлива небезпека таких речовин обумовлюється їх здатністю до біомагніфікації подібно до будь-якого ксенобіотику. На сьогодні більш детально досліджуються біохімічні способи знищення пестицидів шляхом створення консорціумів бактерій, що мають відповідні ферментативні системи, необхідні для метаболізму таких полютантів. Підбір штамів бактерій і грибів проводиться за допомогою баз даних KEGG (the Kyoto encyclopedia of genes and genomes), MetaCyc, EzTaxon, Bacterial Diversity Metadatabase і BacDive [16].

Урбанізація та промислові центри також негативно впливають на екологічний стан навколишніх ландшафтів. На прикладі Апшеронського промислового вузла виявлено, що на екології прибережної смуги позначається розробка нафтових і газових родовищ, скидання побутових, промислових і сільськогосподарських стоків, відсутність дієвих очисних споруд, застаріле технологічне обладнання [17]. Антропогенне навантаження на прибережну зону Каспійського моря в результаті урбанізації і індустріалізації на Апшероні носить двосторонній характер. Як невід'ємна частина екосистеми регіону, Каспійське море реагує на будь-які відчутні інтервенції ззовні. Однією з таких реакцій є зміна рівня Каспійського моря в результаті техногенної діяльності людини.

Основним джерелом забруднення північно-західної частини Каспійського моря зазвичай вважаються річкові стоки, тому процеси змішання річкових і морських вод відіграють важливу роль у просторово-часовій мінливості рівня забруднення. На рівень вмісту у воді стійких забруднюючих речовин, в тому числі і поліциклічних ароматичних вуглеводнів, крім річкового стоку впливають процеси обміну речовин між водою і донними відкладеннями, а також водообмін між Північним і Середнім Каспієм. При цьому потік стійких забруднюючих речовин, так само як і потік зважених речовин, спрямований із гирлового узмор'я в глибоководну частину Середнього Каспію.

Таким чином, основний обсяг забруднень, а це до 90 % від загальної кількості, надходить в Каспійське море з річковим стоком, і таке співвідношення

простежується майже за всіма показниками. Також варто зазначити, що переважна частина цих забруднюючих речовин разом з суспензією осідає в гирловій частині річок.

Інше джерело надходження нафтопродуктів у Каспійське море – це промисловий і господарський стоки міст і селищ, розташованих уздовж прибережної морської смуги. Оскільки у Каспійському регіоні зосереджено 200 великих міст більш ніж із 220 джерелами забруднення водного басейну, то тут щорічно скидається приблизно  $39 \text{ км}^3$  стічних вод, із яких майже  $8 \text{ км}^3$  забруднені.

Несприятливу екологічну ситуацію на Каспії посилив підйом рівня моря, що тривав з 1978 до 1995 року. Відтак, повністю були виведені з ладу очисні споруди міст Дербент та Ізбербаш, внаслідок чого щодоби понад 300 тис.  $\text{м}^3$  неочищених каналізаційних стоків міст Махачкала, Дербент та Ізбербаш потрапляють у Каспійське море.

До початку нафтовидобутку, що став одним із головних джерел антропогенного нафтового забруднення морських вод, на Каспії було і триває до нині природне надходження нафтових вуглеводнів в морське середовище. Зокрема, таким є підземний водний стік, щорічний обсяг якого дорівнює  $4\text{--}5 \text{ км}^3$ , причому вміст нафтових вуглеводнів в підземних водах складає  $0,3\text{--}3,0 \text{ мг/л}$ .

Великі осередки урбанізації та промислові центри негативно позначаються на екологічному стані навколишніх ландшафтів. На прикладі Апшеронського промислового вузла виявлено, що на екологічний стан прибережної смуги впливає розробка нафтових і газових родовищ, скидання побутових, промислових і сільськогосподарських стоків, відсутність дієвих очисних споруд, застаріле технологічне обладнання. Промислові стоки вносять помітний внесок у забруднення Каспійського моря. Ця проблема пов'язана з водоочисними спорудами, які з економічних причин не модернізувалися, і якщо вони взагалі працюють, то є вкрай неефективними [18].

Особливу екологічну проблему становить Кошкар-Ата – один з найбільших відвалів промислових відходів в світі, що займає територію площею приблизно в  $77 \text{ км}^2$ .

Хвостосховище розміщено в природній низині в 5 км від околиці казахського міста Актау і в 8 км від берега Каспійського моря. За роки уранового виробництва 356 млн т шахтних відходів із загальною радіоактивністю 11242 Кі було відправлено в кошкаратинське хвостосховище, звідки забруднюючі речовини можуть розноситися ґрунтовими водами в Каспійське море. Пріоритетним з точки зору екологічної безпеки стає відстійник «Тухла балка» в Казахстані. Стоки з цього резервуара в Атирау є одним з потенційних джерел забруднення Каспійського моря. До теперішнього часу приблизно 50–70 млн м<sup>3</sup> сильно забруднених рідких відходів скупчилися на полях фільтрації цього резервуара. Ці стоки містять високу концентрацію хлоридів, амонійних солей, сульфатів, важких металів (міді, цинку, хрому). Вміст нафти доходить до 200 гранично допустимих концентрацій (ГДК), а фенолу – від 20 до 80 ГДК. У результаті підйому рівня Каспійського моря берегова лінія присунулася ближче (до 10 км) до осадового резервуару. Під час нагону води дана відстань може скоротитися до 3–4 км. Якщо ці води перетечуть в Каспійське море, то наслідки можуть бути дуже серйозними [18].

Наслідки довготривалого підйому рівня моря поглиблюються впливом вітрових (штормових) нагонів. У травні 1988 року на східному узбережжі моря була затоплена частина родовищ Терень-Узек, Тенгіз і Прорва. Внаслідок цього 800 свердловин опинилися під водою, а в море надійшла велика кількість нафти. Існує високий екологічний ризик для біоти при подальшому можливому підйомі рівня моря за рахунок затоплення багатьох нафтових родовищ, господарських об'єктів, транспортних магістралей.

В Азербайджані на частку Баку припадає приблизно 75 % навантаження за забруднювальними речовинами від побутових стічних вод в Каспійське море. Каналізаційна мережа в місті Баку обслуговує близько 72 % міста, однак лише приблизно 50% стічних вод проходить водоочищення: 90 % – біологічними методами і 10% – механічними. Згідно з висновком Базового реєстрового звіту за 2008 рік, є три основних джерела скидання міських стічних вод, що перевищують 100 тонн БПК в рік, та шість основних джерел скидання промислових стічних вод,

що перевищують 10 тонн БСК в рік, або більш ніж одну тону нафти в рік. Основні скиди міських стічних вод здійснюються з Говсанської станції аерації (Баку-Сурахани), Зихскої водоочисної станції (Баку-Хатаї) і Кишлінської трубопровідної розв'язки (Баку-Хатаї). Основні скиди промислових стічних вод відбуваються з заводів синтетичного каучуку й органічного синтезу (Сумгаїт).

Забруднення акваторій і територій в Астраханській області в основному обумовлено перевантаженням проектних потужностей водоочисних споруд в містах і селищах міського типу, і розвитком промисловості. Загальна величина всіх забруднювачів, що надходять в передгірлову частину річки Волга з Астраханської області, не перевищує 10 від основної маси забруднювачів, які переносяться водами Волги через територію області.

#### **1.4 Наслідки забруднення та оцінка техногенного навантаження на екосистеми Каспію**

Екосистема Каспійського моря є унікальною через неоднорідність природних умов уздовж усієї водойми. Характер антропогенного впливу на прибережні території має відмінності, пов'язані з геополітичним статусом моря і розподілом його акваторії між п'ятьма державами: Азербайджанська Республіка, Ісламська Республіка Іран, Республіка Туркменістан, Республіка Казахстан, Російська Федерація. Аналіз наслідків техногенного навантаження на досліджуваній водний об'єкт засвідчує, що найбільш дестабілізуючими діями є хімічні та фізичні (шум, вібрація) забруднення, а також скорочення і виснаження запасів біологічних, мінеральних і водних ресурсів.

За останні 50 років відбувається інтенсивне забруднення промисловими і побутовими стоками опріснених прибережних морських мілководь і прилеглих шельфових вод, зокрема Західно-Каспійського регіону. На екосистемі Північного Каспію особливо позначається вплив річки Волги, обумовлений величиною водного стоку і обсягами забруднюючих речовин: нафтових вуглеводнів (НУ) – 70430,0 т/рік, фенолів – 653,0 т/рік, СПАР – 5120,0 т/рік,  $\text{NH}_4^+$  – 56100,0 т/рік,

$\text{NO}_2^-$  – 11040,0 т/рік,  $\text{NO}_3^-$  – 149500,0 т/рік,  $\text{PO}_4^{3-}$  – 7910,0 т/рік, металів – 7220,0 т/рік, пестицидів – 12,5 т/рік, суспензії – 11722,8 т/рік [19]. Також цей високий рівень забруднення може бути ще посилений у результаті масштабних морських геологорозвідувальних робіт у пошуках родовищ нафти і в процесі її подальшого видобутку. Розвідка та видобуток нафти в акваторії шельфу західного району Середнього і Північного Каспію серйозно позначається на умовах нагулу, міграції та відтворення риби.

Забруднення шельфових вод відбувається в результаті тривалого потрапляння в Каспій із поверхневим стоком різних хімічних неорганічних і органічних забруднюючих речовин, що пов'язано з роботою промислових підприємств, видобутком нафти і газу, інших корисних копалин, а також розвитком сільськогосподарського виробництва, використанням добрив і пестицидів, скиданням неочищених або недостатньо очищених стічних вод, проточних, внутрішніх, інших процесів.

Варто зазначити, що вплив забруднення на біоту та умови відтворення риби найбільш гостро проявляється у внутрішніх водоймах західно-каспійського регіону, а також у гирлах річок і прибережних опріснених морських мілководдях і затоках. Морські шельфові зони менш схильні до забруднення. Шість видів осетрових, зокрема осетер руський (*Acipenser gueldenstaedtii*), осетер перський (*Acipenser persicus*), севрюга (*Acipenser stellatus*), шип (*Acipenser nudiventris*), стерлядь (*Acipenser ruthenus*) і білуга (*Huso huso*), мешкають у Каспійському морі і його басейні. Основна частина існуючих світових запасів осетрових зосереджена на Каспії, де раніше світове виробництво чорної ікри становило від 80% до 90%. Токсикологічна ситуація в головних річках і в ґрунтах Каспійського моря викликала фізіологічні зміни риби, зокрема і зміни гонад осетрових. Було наголошено на смертності осетрових на річках Волзі і Уралі. До 90% обстежених зразків осетрових мали розшарування м'язової тканини і скорочення зовнішньої оболонки ікринок. Негативного впливу антропогенної діяльності в прибережній зоні і на Каспійському морі зазнають майже всі еколого-трофічні групи біоценозів, зокрема і основні представники нектону, планктону і зообентосу.

Таким чином, за результатами оцінки стану ресурсного потенціалу підводних ландшафтів досліджуваного регіону вкрай необхідно розширювати мережу природних акваторій, які перебувають під особливою охороною, із метою відновлення деградованих комплексів [18].

Досить актуальним із позицій екологічної безпеки є питання прогнозування та оцінки стану морської екосистеми шляхом ідентифікації основних джерел антропогенного тиску і встановлення меж допустимого їх впливу. Невирішеним залишається питання розробки і впровадження науково обґрунтованої системи превентивних природоохоронних заходів на підставі проведення комплексної оцінки техногенного навантаження на Каспійське море, з огляду на складність геополітичної ситуації і спільних дій п'яти прикаспійських держав, що і стало предметом досліджень роботи.

Варто наголосити, що до числа відносно нових чинників масштабного антропогенного впливу відносяться засмічення океанічної пелагіалі пластиковими частками і «акустичне забруднення» водних мас. Загальноприйнята методологія надійних кількісних оцінок наслідків впливу людини на морські екосистеми і біоресурси сьогодні, на жаль, практично відсутня [20].

Таким чином, під екологічними наслідками розуміємо такі зміни в морських водоймах, які зумовлюють порушення, тобто будь-які відхилення від природного фону, умов середовища і стану біоти та водночас призводять до зміни структури і функцій екосистем. Серед рибогосподарських наслідків виокремлюємо зниження чисельності промислових видів, погіршення їх відтворення, а також перешкоди щодо рибальства і морської аквакультури.

Стосовно масштабів таких наслідків, то локальний рівень обмежується зоною очевидних і легко реєстрованих порушень на відстані зазвичай не більше десяти кілометрів від джерела впливу. Регіональний масштаб охоплює наслідки в межах великих акваторій (окремі моря, великі затоки, естуарії великих річок та ін.). Глобальний рівень стосується ефектів і наслідків в районах, віддалених від прямого антропогенного впливу (наприклад, пелагіаль океанів).

Оцінка техногенного навантаження на водний басейн Каспійського моря, створювана переважно хімічним забрудненням, проводиться за методикою, запропонованою вченими Каспійського морського науково-дослідного центру. При цьому використовується багатокритерійний і багатопараметричний ансамблевий метод. Процедура проведення оцінки складається з визначення трьох складових: 1) оцінка якості, критерієм якої є гранично допустима концентрація ( $C_1$ ); 2) оцінка акумуляції, описувана фоновою концентрацією ( $F$ ); 3) оцінка навантаження, яка характеризується гранично допустимим навантаженням ( $C_p = C_1 - F$ ). Ансамблевій оцінці забруднення підлягають усі хімічні параметри, для яких встановлена гранично допустима концентрація. Чисельне значення оцінок визначається відповідно до методики [21], яка передбачає переведення середніх значень однокритеріальних оцінок ( $E_{ji}$ ) в бали, на підставі чого робиться висновок щодо класу забруднення середовища. Для розширення аналізу кожен складову ансамблевої оцінки рекомендовано подавати у трьох видах: а) узагальнена оцінка ( $E_1 = E/n$ ) – середнє значення за всіма параметрами; б) пріоритетна оцінка ( $E_2 = E/N$ ) – середнє значення за параметрами, які не відповідають критеріям; в) екстремальна оцінка ( $E_3 = E_{\max}$ ) – значення  $E$  параметру з найбільш високим рівнем забруднення, де  $n$  – загальне число нормованих і вимірюваних показників забруднення;  $N$  – число показників забруднення, у яких  $E > 0$ ;  $E_{\max}$  – максимальне значення  $E$  [21]. Для адекватної оцінки екологічного стану Каспійського моря запропоновано проводити комплексний розрахунок для Північного, Середнього і Південного регіонів із аналізом усіх компонентів середовища: морської води в поверхневому і придонному шарі, у донних відкладеннях. Згідно з результатами щодо ідентифікації пріоритетних забруднюючих речовин при розрахунку узагальненої оцінки навантаження враховували комплекс показників, до складу якого входили 9 забруднюючих речовин: БСК<sub>5</sub>, азот амонійний, нафтопродукти, залізо, цинк, нікель, мідь, свинець і кадмій [22].

Комплексну оцінку ступеня забруднення морської акваторії проводили за показниками ансамблевої оцінки та індексу забруднення води. Дані по індексу

забруднення для Північного і Середнього Каспію станом на 2014 рік наведені в таблиці 1.2 [23].

Таблиця 1.2 – Індекси забруднення морських вод в північно-західній частині Каспійського моря в 2014 р.

| Район                   | Горизонт | ІЗВ  | Рівень забруднення |
|-------------------------|----------|------|--------------------|
| <b>Північний Каспій</b> |          |      |                    |
| Прибережна акваторія    | Поверхня | 0,5  | слабкий            |
|                         | Дно      | 0,44 | слабкий            |
| Відкрита зона           | Поверхня | 0,84 | сильний            |
|                         | Дно      | 0,91 | сильний            |
| <b>Середній Каспій</b>  |          |      |                    |
| Прибережна акваторія    | Поверхня | 0,46 | слабкий            |
|                         | Дно      | 0,41 | слабкий            |
| Відкрита зона           | Поверхня | 0,43 | слабкий            |
|                         | Дно      | 0,63 | слабкий            |

При виході нафти в навколишнє середовище вода і ґрунт забруднюються вуглеводнями, що входять до її складу. У той же час відбуваються процеси, що призводять до розкладання нафти: поширення, випаровування і розчинення. Поверхневий стік вод змиває вуглеводні з поверхні ґрунту і транспортує їх у водойми. На воді нафта розтікається шаром товщиною до кількох міліметрів, утворюючи плівкову нафту. Товщина плівки залежить від в'язкості нафти, поверхневого натягу нафти і води, а також від часу перебування плівки на воді.

У результаті витоків нафти з нафтопроводу, перекачувальних станцій та інших інженерно-технічних споруд можуть статися пожежі і вибухи. Подібні аварії завдають величезної шкоди навколишньому природному середовищу і становлять серйозну небезпеку для життя і здоров'я людей.

Прогрес у розвитку трубопроводного транспорту безпосередньо пов'язаний із виконанням комплексу заходів щодо охорони навколишнього середовища, які базуються на принципово нових науково-технічних основах проектування, будівництва та експлуатації магістральних нафтопроводів. Такі заходи дозволяють істотно знизити, а іноді практично унеможливити забруднення навколишнього середовища.



Таким чином, будівництво й експлуатація нафтопроводу має суттєвий локальний вплив на природне середовище. Однак для оцінки впливу локальних забруднень на екосистему необхідно досліджувати інтенсивність виділення і поширення шкідливих речовин при аварійних ситуаціях [24].

### **1.5 Огляд способів очищення водних екосистем від забруднення нафтою**

Основними антропогенними факторами забруднення вод і донних відкладень є: регламентні роботи при транспортуванні нафти, аварійні розливи при транспортуванні і видобутку нафти на морському шельфі, скидання промислових і побутових стічних вод та сміття [25]. Проблема забруднення навколишнього середовища нафтою і нафтопродуктами акваторії моря є однією з найбільш значущих екологічних проблем сучасного суспільства як у Казахстані, так і в усьому світі [26].

Негативний вплив компонентів нафти і нафтопродуктів на навколишнє середовище широко відомий, а при недотриманні регламенту виконання робіт він призводить до забруднення поверхневих і підземних вод, морських акваторій і атмосфери. Зважаючи на це, одним із найважливіших завдань наукових досліджень є пошук ефективних способів очищення водних екосистем від забруднення нафтою і нафтопродуктами. На сьогодні розглянуті різні методи очищення і відновлення морських акваторій від розливів нафти, зокрема механічні (збір нафти з поверхні води різними пристроями), фізико-хімічні (наприклад, контрольоване спалювання, застосування різних адсорбентів, диспергування та емульгація), а також біоремедіаційні методи [27].

Механічні способи для механізованого способу збору нафти з водної поверхні застосовуються на різних судах, спеціально обладнаних боновими загородженнями, нафтовідкачувальними насосами тощо. Бонові (плавучі) загородження мають різні модифікації (постійної плавучості, надувні, приливні, спливаючі тощо) і виготовляються зі спеціальної тканини, що має високу міцність

та стійкість до дії нафтових вуглеводнів, обмежують поширення нафтової плівки поверхнею води, а також сприяють їх концентрованому збору [28].

Варто зазначити, що недоліком цього способу є неможливість видалення тонкої нафтової плівки з водної поверхні.

Фізико-хімічні способи для спрощення і прискорення процесів механічного збору нафтових забруднень із поверхні води використовують різні фізико-хімічні методи. До них відносять застосування різних сорбентів, наприклад, торф'яний бертінат – зневоднений торф, аеросил – пірогенний двоокис кремнію ( $\text{SiO}_2$ ), сорбент на основі бутадієнстирольного каучуку у вигляді крихти тощо [28, 29].

Найбільш використовуваними є вуглецеві сорбенти, особливо вуглематеріали із високою пористістю, яка досягається спеціальною обробкою вугілля: гідрофобний спучений перліт, вугільні адсорбенти, отримані в процесі окислення напівкоксування кам'яного вугілля, карбонізоване вугілля, терморозширений графіт [30, 31]. Також широке застосування знаходять синтетичні сорбенти, що виготовляються з поліпропіленових волокон, які формують в неткані рулонні матеріали різної товщини [32]. Крім того, використовують поліуретан в губчатому або гранульованому вигляді, формований поліетилен із полімерними наповнювачами та інші види пластиків. В якості сорбентів широко застосовують пористі матеріали: золу, коксовий пил, торф, силікагелі, алюмогелі, активні глини тощо.

Найбільший інтерес викликають сорбенти, які є відходами різних виробництв [33]. При їх використанні в якості сорбентів вирішуються відразу два завдання: очищення забрудненої води та утилізація відходів. Широкого використання для поглинання нафтопродуктів набули відходи деревообробної та целюлозної промисловості, такі як деревна тирса [34], гідролізний лігнін [35], рослинні відходи лляного багаття, модифіковані хімічним шляхом [36], лушпиння рису й гречки [37, 38], карбонізована соняшникова лузга [39, 40], лушпиння пшениці високочастотної плазмової модифікації [41], висушений жом цукрових буряків [42, 43], стрижні кукурудзяних качанів, оброблених зрідженою вуглекислою [44].

Відомі способи отримання сорбентів із берести берези методом вибухового автогідролізу, і композиційних піносорбентів, виготовлених на основі карбамідних пінопластів, наповнених берестою. Також існує можливість отримання феромагнітного сорбенту для збору нафти з водної поверхні на основі великотоннажних відходів виробництва неорганічних речовин [45].

Відомий, однак майже не застосовується, такий метод ліквідації аварійних розливів як осадження нафти [46]. Цей метод реалізується шляхом нанесення на поверхню нафтового шару осаджувачів (будівельне вапно, трепел, що складається з монтморилоніту з рівномірним розподілом кальциту, кварцу, гідрослюди та польового шпату), які сорбують на собі нафту, і вона разом з осаджувачем опускається на дно водного об'єкту. На думку екологів, він негативно впливає на донних мешканців водної екосистеми. Фізико-хімічні методи здатні ефективно ліквідувати нафту, що знаходиться на поверхні води тільки у вигляді плаваючого шару [47].

Інші стани нафти, такі як розчинена у воді або та, що осіла на дно, малодоступні для ліквідації цим способом. До того ж виникає проблема утилізації відпрацьованих сорбентів, що містять нафту. Регенерація такого виду відходів стає практично неможливою через великі матеріальні й енергетичні витрати на здійснення процесу. Також у сорбованій нафті можуть міститися отруйні компоненти, які шкодять не тільки навколишньому середовищу, а й металевим конструкціям портових споруд і корпусам суден, посилюючи корозійні процеси. Застосовувані методи відновлення вод, описані вище, часто самі завдають більшої екологічної шкоди природі, ніж нафтове забруднення [48]. Адже деякі з них не видаляють нафту, а тільки міцніше вводять її у навколишнє середовище.

Більшість застосовуваних на практиці технологій механічної та фізико-хімічної очистки води від нафти та нафтопродуктів багатостадійні, трудомісткі та пов'язані з великими матеріальними витратами [49]. Важливо відмітити, що ці методи рекультивациі не забезпечують повне видалення нафти з поверхні води, особливо це стосується нафти, розчиненої або емульгованої у воді.

Для очищення поверхні морських вод також застосовують біологічні методи, до яких відносять використання біопрепаратів на основі різних видів мікроорганізмів або біоремедіація. Означений метод заснований на впровадженні в забруднений водний об'єкт активних мікроорганізмів-деструкторів, що дозволяє не тільки проводити ефективну очистку від нафтових забруднень, але й стимулювати відновлення природних процесів самоочищення екосистеми [50].

Для біоремедіації водного середовища використовують концентровані біологічні препарати, основу яких складають спеціально підібрані вуглеводнеокиснювальні мікроорганізми (бактерії), ферменти та біосурфактанти (поверхнево-активні речовини), здатні прискорювати процеси природного розкладання органічного забруднення через швидке розщеплення органічних молекул, істотно полегшуючи тим самим засвоєння бактеріями забруднюючої речовини [51].

Біоремедіація вважається однією з найважливіших екологічно чистих і економічно ефективних технологій для морської екологічної очистки, яка призводить до повного розкладання складних нафтових вуглеводнів нафти в процесі мікробного метаболізму на більш прості нетоксичні сполуки (наприклад,  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$ ), які знову беруть участь в біогеохімічному циклі біогенних елементів в природі [27]. У процесі біоремедіації важливе значення для біотрансформації забруднюючої речовини мають мікроорганізми-деструктори нафтових вуглеводнів. Мікробіологічні способи очищення водного середовища від нафтового забруднення включають також використання біопрепаратів на основі монокультур мікроорганізмів, мікробних спільнот (консорціуми й асоціації), а також генетично модифікованих штамів мікроорганізмів [50].

У складі біопрепаратів також можуть бути використані різні добавки-стимулятори (крохмаль, кукурудзяний екстракт, кормові дріжджі, глюкоза, ферменти, добрива) або іммобілізатори. Для збільшення ефективності очищення нафтозабруднених вод одним із найбільш ефективних прийомів, що підвищує окислювальну активність мікробних клітин, є іммобілізація мікроорганізмів на поверхні носія або включення їх до гранул гелів (інкапсулювання) [52].

Найважливішою перевагою іммобілізованих клітин є збереження їх життєздатності та метаболічної активності протягом тривалого часу. Для іммобілізації мікроорганізмів використовують різні носії: природні неорганічні матеріали (глини [53], вермикуліт, що отримується в результаті випалу природних гідратованих слюд [54], суміш глини і відходів збагачення бурого вугілля [55], діатомові землі [56], природні силікати, морська губка та ін.); природні органічні (полімерні) матеріали: хітин і хітозан [57, 58], продукт термообробки рослинних відходів [59], лігноцелюлоза, вторинна целюлозовмісна сировина, гідролізний лігнін [60], кукурудзяна мука [61], торф [62, 63], торф'яної сфагновий мох [64], суміш торфу, бентоніту, альгінату і хітозану [65]; комбіновані матеріали, наприклад, целюлоза і цеоліти [66], пінополіуретан і зернові відходи, такі як лушпиння гречки, рису та соняшнику [67, 68], а також порошкова фракція склоподібних фосфатних добрив [69, 70].

Найбільш перспективними матеріалами, які можуть використовуватися для отримання адсорбентів для прикріплення мікроорганізмів, є природна органічна сировина та відходи виробництва рослинного походження [29]. Серед відходів найбільшого поширення набуло різне лушпиння: гречки, рису, соняшнику, проса, кукурудзи, ячменю тощо [70–72]. Такі відходи, зазвичай, є органічною частиною існуючих екосистем, а їх ефективність особливо проявляється при збиранні важких нафтових фракцій.

Застосування сорбентів на основі оболонок, отриманих при обмолоті проса [71], лушпиння гречки і лушпиння рису [37, 38, 72] дозволяє з високим ступенем витягувати нафтопродукти з поверхневих вод. Максимальна ефективність багатьох біопрепаратів досягається лише при значній щільності бактерій в суспензії та переважно в теплу пору року. Для збільшення ефективності очищення нафтозабруднених вод вносять додаткові мінеральні джерела. Для активізації мікроорганізмів часто необхідне здійснення комплексу технічних заходів (підігрів води, аерація, перемішування), що є досить трудомістким процесом [29].

Серед переваг біоремедіації – екологічна й гігієнічна безпека навколишнього середовища, можливість цілеспрямованого застосування в конкретному місці та у

визначений час, висока швидкість деструкції мікроорганізмами забруднювачів на нешкідливі для навколишнього середовища продукти метаболізму бактерій [50]. Безперечними перевагами біологічних методів також є їх ефективність, економічність та відсутність вторинних забруднень [73].

Основною перевагою цього методу є використання природних вуглеводневоокислювальних мікроорганізмів, які не є чужими для водної екосистеми, що відбувається при застосуванні різних фізико-хімічних методів очищення (адсорбенти, диспергенти) [28, 48]. До того ж, мікроорганізми, які використовуються для ліквідації нафтових розливів в морських водах, є їжею для планктону та інших морських організмів, забезпечуючи, таким чином, певні трофічні зв'язки. Відмітимо, що використання для очищення водних середовищ наземних форм мікроорганізмів призводить до їх загибелі після розкладання всього нафтового забруднення, відтак, не виникає необхідності в додатковому очищенні після завершення процесу мікробної деградації.

Біоремедіація є однією з найбільш економічно ефективних технологій, тому що, в порівнянні з фізичними та хімічними методами очищення, вона ґрунтується на природних фізичних, хімічних і біологічних процесах в системі «морська вода – мікроорганізми – забруднювачі», а нафта і нафтопродукти видаляються в процесі метаболізму мікроорганізмів [27]. За даними досліджень, порівняно з витратами на хімічні і фізичні методи, очищення морських середовищ від забруднень методом біоремедіації дозволяє заощадити до 50–70% витрат. Однак, недоліком цього методу очищення нафтозабруднених вод можна назвати низьку ефективність застосування вуглеводневоокислювальних біопрепаратів при ліквідації великих розливів нафти і нафтопродуктів, коли товщина нафтової плівки на водній поверхні становить більше 1 мм [28]. До того ж, при очищенні великих об'ємів нафтозабруднених вод необхідно вносити значну кількість поживних речовин, які стимулюють активність мікрофлори, зокрема джерел азоту [48].

## **Висновки до розділу 1 та визначення завдань дослідження**

Аналіз теоретичних і практичних досліджень екологічних проблем Каспійського моря, регіону в цілому, впливу діяльності людини на довкілля засвідчив необхідність подальшої деталізації, конкретизації процесів впливу промислових об'єктів нафтогазодобувної промисловості на акваторію.

Проведений патентно-літературний аналіз дозволив визначити, що на разі недостатньо вивчені процеси взаємодії прибережних держав, координація заходів щодо захисту навколишнього середовища, раціональне використання природних ресурсів, відтак, екологічний стан Каспію сьогодні критичний і потребує детального вивчення.

Результати проведеного аналізу засвідчили актуальність дисертаційного дослідження, дозволили окреслити наукові завдання та основні напрями роботи:

- провести аналіз екологічного стану Каспійського моря;
- визначити основні фактори, що впливають на сталий розвиток регіону;
- провести екологічний моніторинг Каспійського моря;
- оцінити техногенне навантаження на морське середовище під впливом нафтового забруднення;
- оцінити вплив вуглеводневого забруднення Каспію на підставі даних моделювання;
- розробити технологію захисту навколишнього середовища від нафтового забруднення та утилізації забруднень;
- розробити рекомендації щодо зниження виникнення екологічних ризиків;
- розробити рекомендації щодо створення регіональної системи екологічної безпеки.

Результати за розділом опубліковані у праці [18].

## РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Характеристика Каспійського моря як об'єкта дослідження

Каспійське море – найбільше на Землі озеро, безстічне, розташоване на стику Європи і Азії, зване морем через свої розміри, а також через те, що його ложе складено земною корою океанічного типу. Вода в Каспії солонa, – від 0,05 ‰ біля гирла Волги до 11–13 ‰ на південному сході. Рівень води підданий коливанням, згідно з даними 2009 року становив 27,16 м нижче рівня моря [74]. Площа Каспійського моря сьогодні – приблизно 371 000 км<sup>2</sup>, максимальна глибина – 1025 м.

Каспійське море умовно ділиться за фізико-географічними умовами на три частини – Північний Каспій, Середній Каспій і Південний Каспій. Умовна межа між Північним і Середнім Каспієм проходить по лінії о. Чечень – мис Тюб-Караганський, між Середнім і Південним Каспієм – по лінії о. Житловий – мис Ган-Гулу. Площа Північного, Середнього і Південного Каспію становить відповідно 25, 36, 39 %.

Протяжність берегової лінії Каспійського моря становить приблизно 6500–6700 кілометрів, з островами – до 7000 кілометрів. Береги Каспійського моря на більшій частині його території – низинні і гладкі. У північній частині берегова лінія порізана водними протоками і островами дельти Волги і Уралу, береги низькі і заболочені, а водна поверхня в багатьох місцях покрита заростями. На східному узбережжі переважають вапнякові береги, що примикають до напівпустель і пустель. Найбільш звивисті береги – на західному узбережжі в районі Апшеронського півострова і на східному узбережжі в районі Казахського затоки і Кара-Богаз-Гола. Прилегла до Каспійського моря територія називаються Прикаспієм.

Варто зазначити, що однією з найважливіших особливостей Каспію є мінливий рівень води, який має суттєвий вплив на біорізноманіття на великих



мілководних ділянках. Рівень Каспійського моря є нижче рівня Світового океану. До найвищого показника – 22 м вода піднімалася приблизно 38 000 років тому, але, можливо, було всього 64 метри. На початку минулого століття (до 1929 р.) рівень моря коливався в межах 26,2 м, потім знижувався до 29,0 м у 1977 році. Це був найнижчий рівень, досягнутий за останні 400–500 років. У 1978 році почався стрімкий підйом, а до 1994 року рівень досяг 27,0 метрів, у 1995 році спостерігається деякий регрес рівня моря. Сьогодні ця позначка фіксується близько 28,8 метрів, припливів майже немає.

Чинники, що викликають ці коливання, недостатньо вивчені, а причини досить відомі й широко обговорюються. Одне дослідження припускає, що 45 % змін рівня води обумовлені збільшенням річкового стоку, 16 % збільшенням поверхневих опадів, 25 % зниженням інтенсивності випаровування й 14 % зменшенням стоку в Кара-Богаз-Гол, в якому рівень води нижче, ніж у морі. Інші дослідження припускають, що значна частина недавніх змін рівня моря має тектонічне походження. Цілком очевидно, що існують і більш досконалі методи прогнозування означених явищ.

Тому відповідно до Каспійської Екологічної Програми було створено регіональний центр із водних ресурсів у Казахстані, який працює над усуненням основних причин щодо зміни рівня води, а також над розробкою моделей для прогнозування таких змін.

За останні 40 років рівень забруднення збільшився в результаті антропогенної діяльності, що не завжди відбувається безпосередньо поблизу моря. Існування дренажного басейну особливо позначається на виникненні проблеми. Забруднюючі речовини переносяться в море безпосередньо річковим потоком (приблизно 80 % від загального навантаження), атмосферним шляхом, потоком ґрунтових вод і прямим потраплянням (наприклад, забруднення нафтою в Бакинській області). Основними джерелами є необроблені відходи промисловості й сільського господарства вздовж річки Волга, видобуток, переробка нафти і газу в морі, транспортування і морські викиди. Значна концентрація нафти у покладах, що знаходяться поруч із деякими видобувними

станціями, переробка і транспортування нафти пригнічують біологічні процеси, зокрема вирощування комерційно важливої риби [3].

Каспійське море є одним з найважливіших безстічних басейнів у світі і, оскільки він оточений з усіх боків сушею, у ньому відсутня проточність, яка забезпечує самоочищення. Забруднювачі, які потрапляють у воду, залишаються в ній за відсутністю механізмів їх видалення. Тому надзвичайно важливо мати повну інформацію про рівень надходження забруднювачів і, таким чином, вибрати найбільш ефективні засоби екологічної компенсації або зменшення забруднення. Приплив води з річок є ключовим фактором в Каспійському басейні, що посилює необхідність кількісного моніторингу забруднюючих речовин, принесених водотоком. Найбільшими забруднюючими галузями є сільське господарство, промисловість, зокрема і нафтогазова, і урбанізація.

З основними шельфовими родовищами Каспію пов'язано максимальне надходження біологічно окиснюваної органіки, що оцінюється показником біологічного споживання кисню, нафтових вуглеводнів, азоту і фосфору (рисунок 2.1).

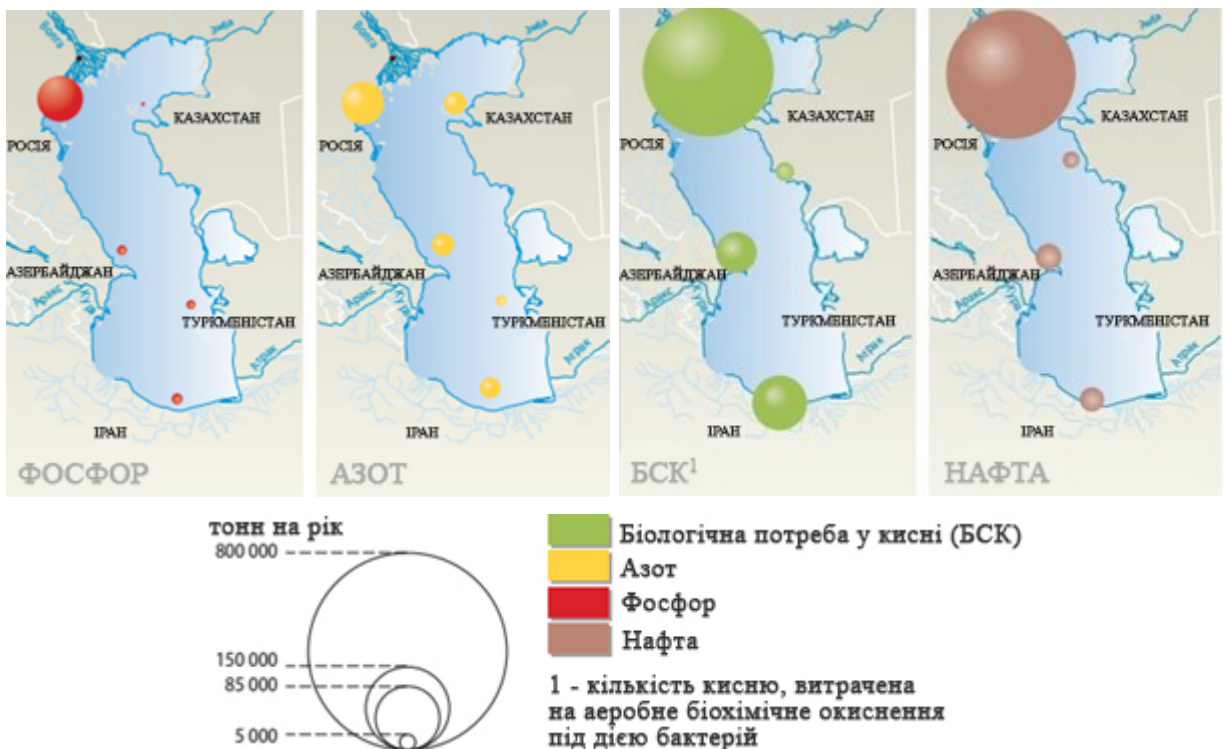


Рисунок 2.1 – Обсяги скидання забруднюючих речовин в Каспій

Таким чином, графічна інтерпретація кількісних показників викидів забруднюючих речовин характеризує річки Волгу, Урал і Куру як основні джерела забруднення Каспійського моря, значно менша частка – з Атрека, Терека, Самура.

На рисунку 2.2 графічно показано розподіл концентрації важких металів в акваторії Каспійського моря. При цьому в якості нормативу використовували ERL – показник концентрації, вище якого відбувається шкідливий вплив (Національне управління океанічних і атмосферних досліджень (NOAA) Керівництво щодо якісних показників морських опадів) [75].

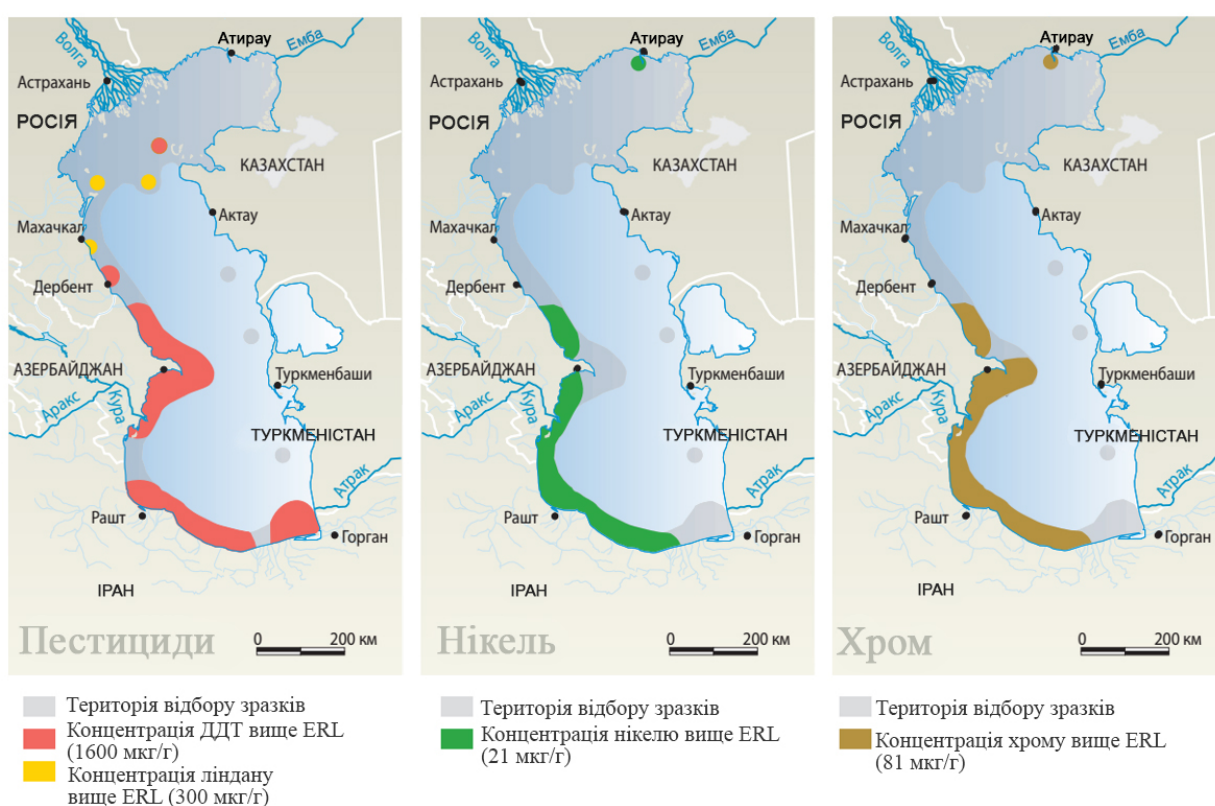


Рисунок 2.2 – Пестициди і важкі метали в придонних відкладеннях

За результатами досліджень В. Г. Петреченкової та І. Г. Радованової північно-західної частини Каспійського моря щодо вмісту важких металів, було визначено, що за період 2013–2016 рр. у відібраних пробах води спостерігалось перевищення гранично допустимої концентрації для міді і ртуті. Концентрація інших забруднювачів не виходили за межі гранично-допустимих значень. Концентрація міді в досліджуваній період змінювалася в межах: у поверхневому

шарі – від 0,59 до 5,69 мкг/л при середній 2,48 мкг/л; у придонному шарі – від 0,50 до 7,06 мкг/л при середній 2,26 мкг/л [16]. За індексом забрудненості металами (MPI – metalpollutionindex), який розраховується згідно з [76], оцінено ступінь якості води для цього регіону як дуже чиста і чиста, тобто I та II клас відповідно. Протилежна ситуація склалася в південно-західній частині Каспійського моря, де спостерігається значне перевищення концентрації важких металів встановлених нормативів гранично допустимої концентрації для водойм (рисунки 2.2 та 2.3). Ступінь забрудненості водного середовища за індексом оцінюється як забруднена і брудна для цього регіону.

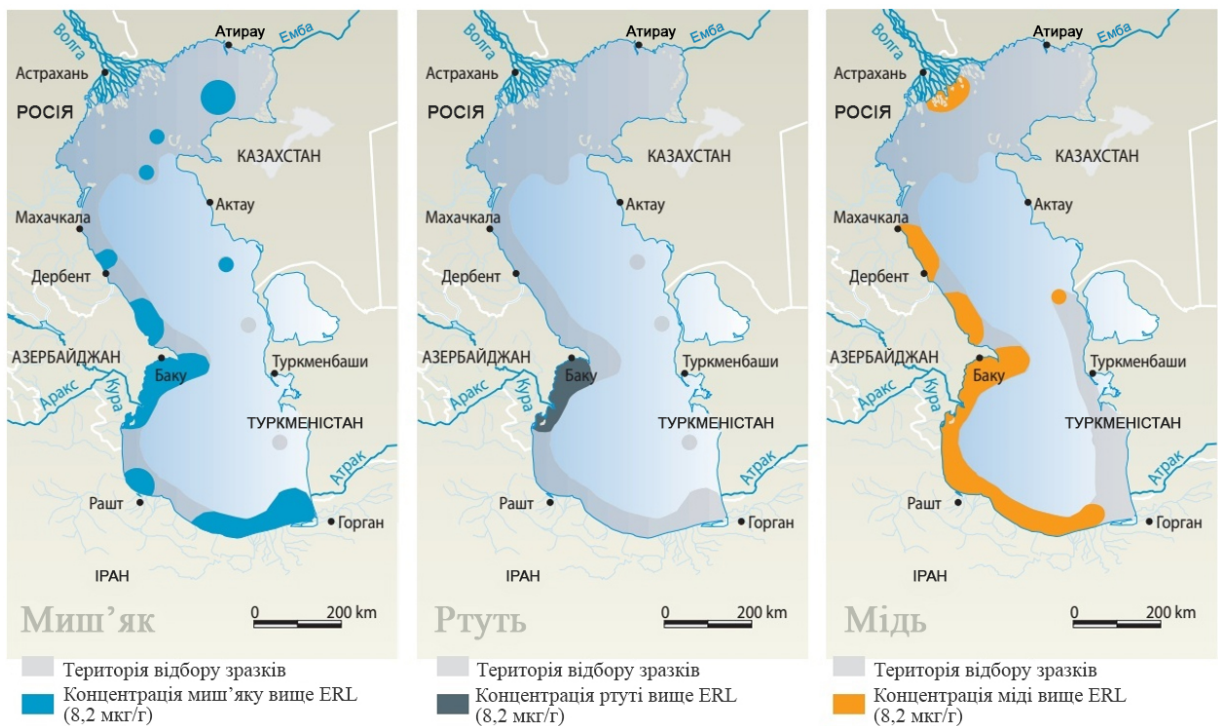


Рисунок 2.3 – Важкі метали в донних відкладеннях

Аналіз вмісту важких металів у водному середовищі засвідчив розбіжність концентрацій забруднюючих речовин в поверхневому шарі і донних відкладеннях (ДВ), що характеризує рівень седиментації, пов'язаної безпосередньо з дисперсністю опадів. Дослідженнями акваторії Північного Каспію на підставі проведеного [77] кореляційного аналізу встановлено наявність стійкого позитивного зв'язку між вмістом в донних відкладеннях алевроиту і концентрацією

нікелю ( $r = 0,50$ ) і заліза ( $r = 0,45$ ). Зі вмістом пелітових фракцій в донних відкладеннях позитивно корелювала концентрація міді ( $r = 0,59$ ). Уміст ДВ в опадах мав позитивну кореляцію з концентрацією таких металів, як цинк ( $r = 0,46$ ) і залізо ( $r = 0,55$ ). Таким чином, накопичення важких металів відбувається в дрібнодисперсних ґрунтах: на мілководді – багатих органічною речовиною алохтонного походження, в глибоководній зоні – органічною речовиною автохтонного походження [78, 79].

Результати розрахунку індексу забруднення морських вод в укрупнених районах акваторії Каспійського моря узгоджуються з ансамблевою оцінкою, вказуючи на незначно більший ступінь забруднення вод саме Північного Каспію, що пов'язано з переважанням джерел техногенного навантаження. На підставі зробленого аналізу джерел і характеру забруднення визначено, що Північний Каспій більш схильний до впливу річкового стоку Волги і Уралу, що несуть у своїх водах забруднювальні речовини промислових підприємств, переважно нафтогазового комплексу, і змив пестицидів і мінеральних добрив з сільськогосподарських угідь [18].

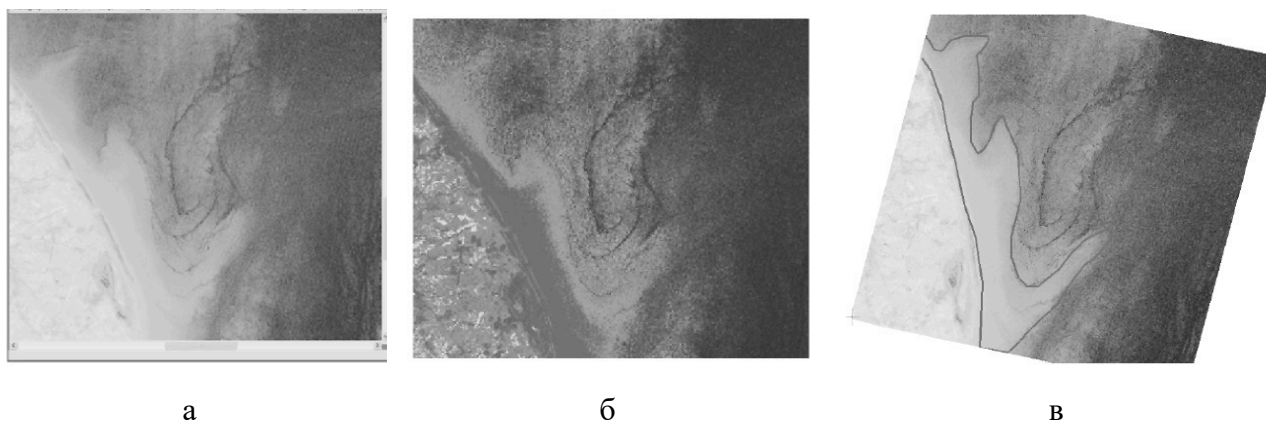
## 2.2 Дистанційні методи дослідження морського середовища

Від найдавніших часів відомо, що на поверхні океану відбуваються найрізноманітніші гідрофізичні і гідробіологічні процеси, що прослідковуються як у глибині океану, так і на його поверхні при взаємодії з атмосферою. Основною відмінною особливістю дистанційних методів дослідження океану від традиційних (контактних) є непрямий характер спостереження за фізичними процесами й вимірювання їх параметрів. Прилади, встановлені на супутниках, реєструють активний (відбитий) або пасивний (власне випромінювання) сигнали у різних областях електромагнітного спектра. Відповідно сигнал необхідно перетворити в фізичну величину, яка б зацікавила океанологів.

В основі дистанційного зондування у видимому діапазоні – спостереження за яскравістю розсіяного і відбитого сонячного світла. Відповідно зйомка

виконується оптичними камерами і сканерами. Найчастіше використовуються багатозональні сканери МСУ-М, МСУ-СК і МСУ-Е на супутниках «Ресурс-О», «Метеор», «Океан». Також користуються популярністю сканери супутників NOAA, Landsat, Spot, IRS, та спеціально створені системи Coastal Zone Color Scanner супутників Nimbus і Seaviewing Wide Field Sensor супутника SeaStar, за допомогою яких вивчають колір океану.

На рисунку 2.4 а наведений знімок Landsat ТМ північної частини азербайджанського узбережжя Каспійського моря. За допомогою перетворення «еквалізації» підкреслено різний стан самої водної поверхні і нечіткий береговий малюнок. Трансформований знімок (рисунок 2.4 б) чітко виділяє кордони поширення виносів річок, які протікають у північній частині території Азербайджану, а також р. Самур.



а – трансформований знімок Landsat ТМ в програмі ScanMagic (північна частина узбережжя Каспійського моря); б – додатково трансформований знімок, за допомогою якого показано чітко виділені межі поширення річкових виносів; в – географічно прив’язаний знімок із виділеним контуром поширення мутних вод річкових виносів

Рисунок 2.4 – Космічні знімки

На рисунку 2.4 в зона мутних вод підкреслена контурною лінією і видно, що вихрові потоки сприяють подальшому поширенню річкових виносів вглиб моря. Обробка супутникових даних (рисунок 2.4 а) проводилася за допомогою програми

ScanMagic, яка є частиною програмного забезпечення наземного комплексу прийому супутникової інформації UniScan-24.

Таким чином, спільна обробка результатів наземних вимірювань і даних ДЗ за допомогою ГІС-технологій збільшує можливості аналізу екологічної ситуації і динаміки зміни берегової зони.

Поява такого інструменту, як MODIS з поліпшеними спектральним і просторовим розширеннями, дозволяє здійснювати моніторинг басейну Каспійського моря з розширенням 250 м. Регулярні зйомки дозволяють проводити моніторинг пожеж, повеней і сезонну мінливість поверхні моря (рисунок 2.5).

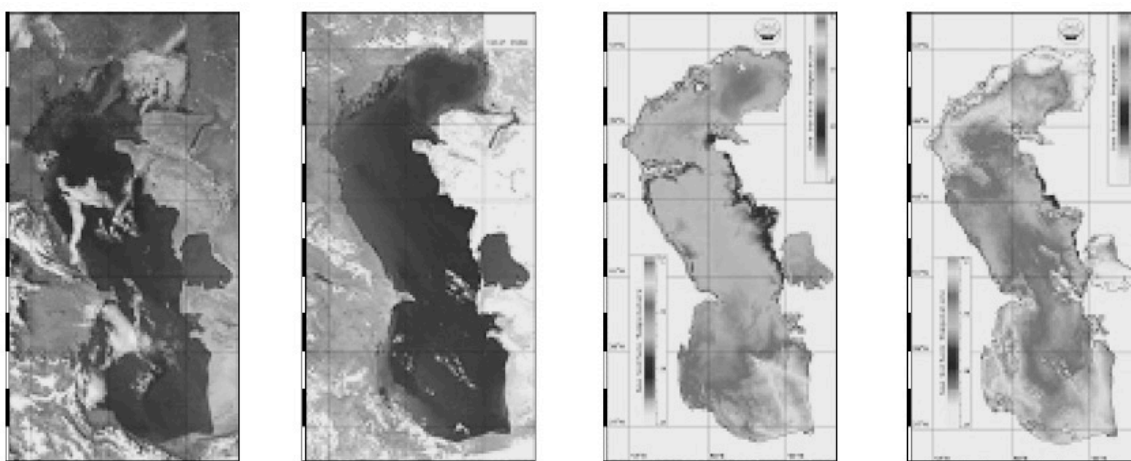


Рисунок 2.5 – Приклад оцінки стану поверхні моря за даними MODIS (2009 р.)

Для визначення температури поверхні океану використовують зондування в тепловому інфрачервоному діапазоні, що базується на вимірюванні власного теплового випромінювання поверхні океану. У всьому світі визнають і використовують дані радіометра Advanced Very High Resolution Radiometer на супутниках серії NOAA. Також широко застосовують радіометр серії Along Track Scanning Radiometer на європейських супутниках ERS і Envisat [80].

Отже, активне зондування базується на випромінюванні зі супутника і прийомі відображеного або розсіяного морською поверхнею радіосигналу, тоді як на реєстрації власного СВЧ і радіотеплового випромінювання океану базується пасивне зондування у СВЧ-діапазоні. За допомогою пасивних радіометрів

отримують і фіксують інформацію відповідно про температуру поверхні океану, скупчення й товщину морської криги, солоності, запаси вологи хмар, інтенсивність опадів, швидкість вітру.

Основним засобом активного зондування стали радіолокатори бічного огляду з реальною антеною і антеною з синтезованою апертурою (РСА або SAR). Для вимірювання рівня океану і висоти хвиль працюють за принципом активної локації також радіоальтиметри супутників Topex/Poseidon, Jason та інші, а для визначення поля приповерхневого вітру використовують скатерометри NSCAT, QuikScat тощо.

Таким чином, названі датчики дозволяють вести глобальний моніторинг Світового океану і відповідно постійно спостерігати їх дані, що на разі доступні в мережі інтернет практично в реальному часі [81].

### **2.3 Підходи до оцінювання техногенного навантаження на морські екосистеми**

При оцінці впливу особлива увага повинна приділятися таким критеріям, як рівень, тривалість і географічна протяжність передбачуваної взаємодії у просторових і часових рамках. Цей підхід передбачає використання чотирьох категорій значущості:

I Значний вплив: впливають на всю популяцію у ступені, достатньому для того, щоб викликати скорочення чисельності та (або) зміни в розподілі, при перевищенні якого природне поповнення не повертає популяцію до колишнього рівня протягом декількох поколінь порушеного впливом виду;

II Помірний вплив: впливають на частину популяції і можуть викликати зміна чисельності і (або) розподілу на протязі одного або декількох поколінь порушеного впливом виду, але не загрожують цілісності цієї популяції.

III Незначний вплив: впливають на конкретну групу в рамках генетичної популяції протягом короткого періоду часу (не більше одного покоління



порушених впливом особин), але не впливають на інші трофічні рівні або популяцію;

IV Нехтовно малий вплив або відсутність впливу: відсутність помітних прогнозованих впливів на навколишнє середовище; вплив настільки незначній мірі, що проведення подальшого розгляду при проведенні оцінки впливу не потрібно.

Техногенне навантаження на морські екосистеми від нафтовидобувної діяльності можна оцінити використовуючи індикатори і цільові показники якості. У рамках дослідження Баренцевого моря авторами праці [82] пропонується виділення індикаторів у межах окремих категорій, об'єднаних у систему з трьох взаємопов'язаних груп сигнальних параметрів:

- індикатор стану, що характеризує якість екосистеми за природніх умов – S (state);
- індикатор впливу, що ідентифікує характер і силу впливу досліджуваного техногенного процесу на екосистему – I (influence);
- індикатор наслідків, що вказує на конкретні якісні та кількісні зміни в екосистемі – C (consequence).

Недоліком такого підходу є відсутність уніфікації, оскільки категорії та відповідні індикатори обиралися з переліку найбільш значущих для досліджуваної екосистеми.

Авторами праці [83] під час комплексного екологічного моніторингу рекомендується використовувати систему ключових параметрів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Система параметрів довкілля, що використовується для екологічного моніторингу нафторозвідувальних робіт

| Тип        | Категорія              | Параметр   |
|------------|------------------------|--|
| Фізичні    | Метеорологічні         | Температура і вологість повітря, атмосферний тиск, напрямок і швидкість вітру, хмарність   |
|            | Океанографічні         | Температура і солоність води, швидкість і напрямок течій, прозорість, хвилювання, лід  |
| Геохімічні | Описова седиментологія | Візуальний опис поверхні осаdів; гранулометричний склад; запах; колір; загальний вміст органічного вуглецю (ТОС); вміст води; окислювально-відновний потенціал (Eh)                                |
|            | Вуглеводні             | Загальний вміст вуглеводнів (ТНС); нафталін, фенантрен / антрацен, дібензтіофен і їх С3 алкілгомологи (NPD); біциклічні аліфатичні вуглеводні типу деколіни; 2-6-ти циклічні ароматичні вуглеводні |
|            | Метали                 | Обов'язково – барій Ва, кадмій Cd, мідь Cu, свинець Pb, цинк Zn, ртуть Hg, залізо Fe; бажано – кобальт Co, нікель Ni, ванадій V, хром Cr, стронцій Sr, алюміній Al                                 |
| Біологічні | Зообентос              | Кількість видів на одиницю площі або в одиниці об'єму осаду; кількість і біомаса індивідуумів кожного виду   |
|            | Іхтіофауна             | ТНС, NPD, біциклічні вуглеводні в м'язах і печінці; вік і розміри кожного досліджуваного індивідуума; розмірна вибірка і статистичний аналіз   |

Системний підхід до оцінки навантаження комплексної нафтовидобувної діяльності на біотичну складову морської екосистеми полягає в урахуванні всіх чинників впливу на кожному етапі досліджуваного процесу.

З метою оцінки навантаження на морські екосистеми від нафтовидобувної діяльності доцільно застосовувати інтегрально-диференційний підхід, сутність якого полягає у таких аспектах:

1) розроблення єдиної розширеної системи категорій індикаторних (сигнальних) показників якості, що враховує кліматичні, геологічні, географічні, геофізичні, геохімічні, гідробіологічні та інші параметри середовища ведення нафтовидобувної діяльності і як наслідок її впливу на місцеву біоту;

2) виділення у межах кожної категорії укрупнених індикаторів, які якнайповніше характеризували б стан екосистеми морського середовища Каспью;

3) застосування системи уточнених індикаторів у межах відповідних укрупнених одиниць для кожного окремого досліджуваного об'єкта [84].

## **2.4 Методи моделювання поширення та трансформації нафти у водному середовищі**

Нафта є складною сумішшю декількох тисяч вуглеводнів, нафтових кислот, асфальтенів, смол і 22 інших компонентів [85]. Вона включає похідні, що містять сірку (меркаптани, тіофен, дисульфіди, тіофани тощо), азот (гомологи піридину, акридину, гідрохіноліну тощо) і кисень. Сира нафта у своєму складі має до 10% води, розчинені вуглеводневі гази (до 4%), мінеральні солі (переважно хлориди – до 4 г/л) і багато мікроелементів, за співвідношенням концентрацій яких отримують додаткову характеристику про походження і властивості нафти. Серед нафтогазових вуглеводнів зазвичай виділяють:

– алкани – парафінові насичені ациклічні вуглеводні з прямим або розгалуженим ланцюгом атомів С (40-50% об'єму);

– нафтени (циклопарафіни) – насичені циклічні і поліциклічні сполуки, у яких атоми водню можуть бути заміщені алкільними групами (25-75%);

– ацени – ароматичні ненасичені циклічні сполуки ряду бензолу, де атоми водню можуть бути також заміщені алкільними групами (зазвичай до 10-20, рідше до 35%);

– алкени (олефіни) – ненасичені нециклічні вуглеводні з прямим або розгалуженим ланцюгом і подвійним зв'язком  $C=C$ , хоча з'єднання цього ряду не входять до складу сирової нафти, але є основним продуктом її крекінгу.

Нафта перебуває у водному середовищі у вигляді декількох агрегатних станів: поверхневих плівок (сліків); розчинених форм; емульсій (типу «нафта у воді» і «вода в нафті»); зважених форм (плаваючі на поверхні і в товщі води мастильно-нафтові утворення, сорбовані нафтові фракції); донний осад твердих і в'язких компонентів; акумульованих в гідробіонтах утворень.

Нафтові розливи – це найбільш складне і динамічне явище розподілу домішок у морі. З перших секунд контакту з морським середовищем сира нафта перестає існувати як вихідний субстрат і піддається складним процесам перенесення, розсіювання і трансформації. Одночасно розвиваються процеси розтікання і дрейфування нафтової плівки на поверхні моря з розчиненням і емульгуванням нафти в морській воді. Поведінка нафти, що потрапила в морське середовище, залежить головним чином від фізичних характеристик самої нафти: температури кипіння, плавлення, густини і в'язкості, а також від хімічної природи і співвідношення компонентів нафти.

Хімічні перетворення нафти у товщі води мають, загалом, окиснювальний характер, часто супроводжуються реакціями під впливом ультрафіолетової частини сонячного спектра і можуть каталізувати в присутності деяких мікроелементів, наприклад, ванадію, і інгібувати сполуками сірки. Кінцеві продукти окиснення (гідроперекиси, феноли, карбоксильні кислоти, кетони, альдегіди та ін.) зазвичай мають підвищену розчинність у воді і володіють підвищеною токсичністю. Фотоокиснювальні реакції ініціюють полімеризацію і деструкцію найбільш складних молекул в складі нафти, підвищують її в'язкість і

вміст смолисто-асфальтенових продуктів, сприяють утворенню твердих нафтових агрегатів. Дослідження на природних моделях у Каспійському морі показали, що в розпаді нафтових вуглеводнів вагома функція належить фізико-хімічному окисненню [8].

Від перших секунд контакту нафти і її продуктів з морським середовищем спостерігається досить складна картина їх перетворень, хід, тривалість і результати яких залежать від властивостей і складу самої нафти, а також від умов навколишнього середовища (рисунок 2.6).

Головними рисами цієї картини є, по-перше, динамізм, особливо на перших стадіях, і, по-друге, тісний зв'язок фізичних, хімічних та біологічних процесів розсіювання і трансформації компонентів нафти, до повного їх зникнення як вихідних субстратів.

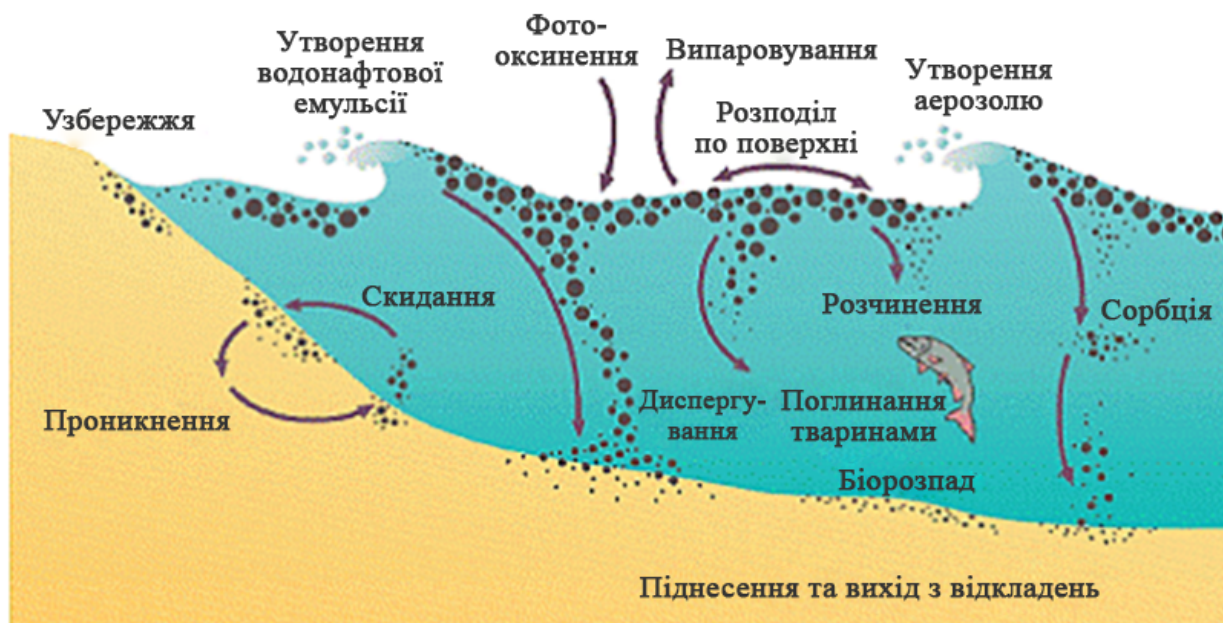


Рисунок 2.6 – Схема перетворення нафти і її продуктів в морському середовищі

Сумарний ефект усіх процесів, відображених на рисунку 2.6, полягає в тому, що нафта швидко втрачає свої первинні властивості, розділяється на групи і фракції різних форм, склад і хімічна структура яких радикально трансформується, а вміст падає в результаті розсіювання і розкладання аж до зникнення вихідних і проміжних сполук із утворенням вуглекислого газу і води.

У моделі DHI MIKE 21 OilSpill [86, 87] нафта у водному середовищі розглядається як переміщення значної кількості дискретних частинок випадковою траєкторією, тобто зміщення кожної частинки обчислюється як сума адвективного детермінованого компонента і незалежної випадкової флуктуації типу марківського процесу. Такий підхід називається методом дискретних частинок Лагранжа. При потраплянні частини у водне середовище її траєкторія і маса записуються, як функція від часу відносно розрахункової сітки, зафіксованої у просторі. Щільність розподілу всіх частинок може бути інтерпретована, як концентрація забруднюючої речовини.

Для моделювання переміщення забруднюючих речовин в однорідному вертикальному середовищі застосовують інтегровані щодо глибини рівняння переносу маси. Положення для кожної частки у випадковій моделі переміщення описується за допомогою нелінійного рівняння Ланжевена [88, 89].

Швидкість дрейфування нафтової плями поверхнею моря (адвекція) визначається як векторна сума швидкості течії на поверхні і швидкості вітру. Поля течій можуть бути розраховані за допомогою дво- або тривимірної гідродинамічної моделі (HD MIKE 21 або MIKE 3). Поля течій у MIKE 21 HD інтегровані по глибині, що означає, що вертикальні швидкості дорівнюють нулю, а значення горизонтальних швидкостей усереднюються по глибині.

Забруднювач дифундує у водному середовищі. Дифузія відбувається як в горизонтальному, так і вертикальному напрямках. Вертикальна дисперсія відіграє важливу роль при розрахунку осадження нафти на морське дно. Саме вона є домінуючим фактором при розрахунку вертикального перенесення осаду.

Для моделі DHI OilSpill характерним є розділення нафти на чотири основних фракції:

1. Легка фракція нафти, до якої відносяться ароматичні вуглеводні й інші компоненти нафти з молекулярною масою менше 160 г/моль і температурою кипіння нижче 300 °С;
2. Важка фракція нафти з молекулярною масою понад 160 г/моль і температурою кипіння вище 250–300 °С;

3. Асфальтени;

4. Парафін.

Варто зазначити, що дві останні фракції розглядаються як спеціальні, оскільки в означеній моделі передбачається, що асфальтени і парафіни не випаровуються, не розчиняються у воді і не деградують. Відтак, модель описує загальна кількість розлитої нафти як суму значної кількості треків дискретних частинок нафти. Ці нафтові треки піддаються фізико-хімічним процесам, таким як: розтікання, випаровування, розчинення, емульсифікація, осадження, біодеградація, фотоокиснення і вертикальна дисперсія.

Розтікання – процес, в якому поведінка розлитої на поверхні моря нафти контролюється дією сил тяжіння, її в'язкістю і поверхневим тиском. Площа сліки в моделі DHI OilSpill визначається як площа нафти на морській поверхні й еквівалентна площі сліків, утворених окремими частинками нафти при проходженні своїх випадкових треків. Зміну площі в часі описано в роботі [90].

Випаровування – процес, особливо важливий для менш розчинних насичених нафтових вуглеводнів, так як контактуючи з повітрям нафта випаровується в атмосферу. У перші кілька діб після розливу нафти відповідно до 75, 40 і 5% її легких, середніх і важких фракцій переходить у газову фазу.

Таким чином, на випаровування нафтового забруднення, по-перше, впливає фракційний склад нафти, по-друге, – температура повітря і води, площа розливу, швидкість вітру, сонячна радіація і товщина нафтової плівки. Процес випаровування для однієї частинки нафти, яка контактує з поверхнею води вглиб на 5 см, розраховується відповідно до моделі Ріда (Model of Reed) [91].

Розчинення – процес, швидкість якого залежить від молекулярної структури і маси нафти. Якщо ароматичні нафтогазові вуглеводні є найбільш розчинними, тому активно переходять у водне середовище, то нафтові вуглеводні практично не розчиняються у воді.

Емульсифікація – процес, що відбувається за рахунок гідродинамічних факторів при потраплянні у морське середовище нафтогазових вуглеводнів у

вигляді емульсій і присутності в складі нафти високомолекулярних сполук, які особливо активно беруть участь в утворенні емульсій.

Процеси утворення двох емульсій: вода-у-нафті й нафта-у-воді у моделі DHI OilSpill описуються як рівнозначні. Для опису процесу емульсифікації використовується формула першого порядку, описана в роботі. У моделі DHI OilSpill використовується індекс емульсійної стійкості, який наведено в роботі.

Осадження – процес, у якому до 10–30% нафти сорбується на суспензії і осідає на дно. Седиментація розвивається в основному в прибережній зоні і на мілководді, де багато суспензії і відбувається активне перемішування водних мас.

Біодеградація – процес, який визначає кінцеву долю нафти в морському середовищі. До 100 видів бактерій і грибів здатні використовувати нафту як субстрат для росту і розвитку біомаси.

Фотоокиснення – процес у водному середовищі починає розвиватися лише через добу після потрапляння нафти в море. Часто її хімічне окиснення супроводжується її фотохімічним розкладанням під впливом ультрафіолетової частини сонячного спектра. Важливим фактором переміщення нафтового забруднення з морської поверхні в товщу води є вертикальна дисперсія. У моделі DHI OilSpill цей процес заснований на роботі [7].

## **2.5 Методика експерименту (лабораторний стенд)**

Лабораторна установка, що використовується для вивчення біодеградації нафтового забруднення (плівки), показана на рисунку 2.7. Біореактор (1) – це скляна конічна колба, що була покрита фольгою для запобігання зростанню фотосинтетичних мікроорганізмів, об'ємом 300 мл, що містить 210 мл живильного середовища. Посудина (2) використовувався для візуального спостереження за процесом газовиділення, внаслідок барботування біогазом води, що знаходиться в посудині.



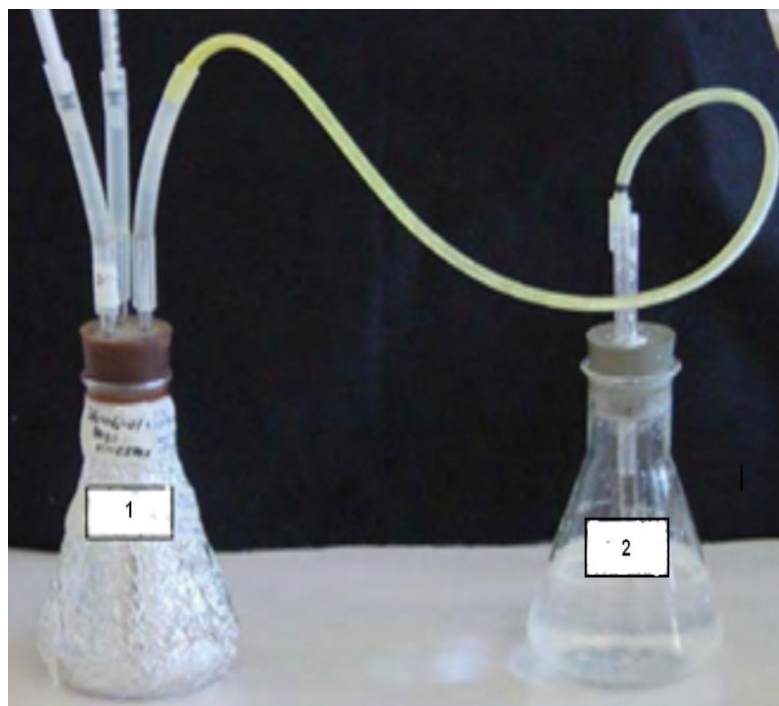


Рисунок 2.7 – Лабораторна установка: біореактор (1), підключений до посудини (2) для вловлювання газової фази, що відходить

Використовувалося кілька аналогічних лабораторних установок. Колби продували азотом для підтримання анаеробних умов для одночасного проведення серії дослідів. Зразки були взяті за допомогою шприца, зберігаючи при цьому безперервний потік газоподібного азоту, щоб запобігти попаданню кисню. Процес зброджування проводили при кімнатній температурі (22 °C).

Були поставлені такі варіанти дослідів.

Варіант 1. Як іннокулянт використовувалася культура ґрунтових мікроорганізмів, що містить метаногени. Живильне середовище для метаногенів складалося із суміші солей, мікроелементів і вітамінів (г/л):  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0,4;  $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  – 0,4;  $\text{NH}_4\text{Cl}$  – 1,0;  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – 0,1;  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 0,02; дріжджовий екстракт – 2 г; вода дистильована; рН середовища 7,0-7,5.

Варіант 2. Як іннокулянт була використана накопичувальна культура, отримана при посіві штрихами, як живильне середовище брали агар-агар та використали асоціацію сульфатредукторів, виділених з нафтового забруднення (плівки) (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Нафтове забруднення

Таким чином, місце відбору проб обумовлено складом води озера, а саме великим вмістом сульфатів, органіки, що скидаються у вигляді стоків прилеглих підприємств. У донних відкладеннях озера природним шляхом сформувалася природна культура сульфатвідновлюючих бактерій (СВБ), яка може використовуватися в якості завантаження біореактора.

Живильне середовище для культивування СВБ повинно містити сульфати, вуглецевмісний субстрат (джерело органічного харчування і донор електронів в реакціях біохімічного відновлення сульфатів), а також мінеральні солі (джерела азоту, фосфору і інших мікроелементів, необхідних для росту і розвитку СВБ). У ході дослідження застосовувалося живильне середовище Виноградського такого складу (г/л):  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0,05;  $\text{MgSO}_4$  – 2,5;  $\text{NaCl}$  – 2,5;  $\text{FeSO}_4$  – 0,05;  $\text{MnSO}_4$  – 0,05; вода дистильована; фільтрувальний папір – 2 г; рН середовища 7,0–7,5.

Елективні умови в цьому випадку визначаються наявністю нафтового забруднення – джерела вуглецю, який може застосовуватися тільки специфічними групами мікроорганізмів і створенням анаеробіозу.

В якості органічного субстрату вносилося нафтове забруднення з вихідною концентрацією 600, 1000, 1300, 1400 мг/л в обох дослідах. Тривалість експериментів становила 12 годин.

Про розкладання субстратів судили за сукупністю ознак: наявністю мікрофлори, відхилення рН, газовиділення.

Мікрофотографії мікробних препаратів отримували і обробляли за допомогою цифрової системи виведення зображення «SEO Scan ICX 285 AK-F IEE-1394» і морфометричної програми «SEO ImageLab 2.0» (м. Суми, Україна).

Контроль рН проводився з інтервалом в добу за допомогою рХ-метру рХ-150 (іонометр) (Білорусь) з електродом скляним комбінованим «ЭКС-10603». Межа основної похибки приладу  $\pm 0,05$  одиниць рН. Калібрування приладу проводили з використанням стандарт-титрів для рН-метра: розчину калію фосфорнокислого однозаміщеного 0,025М, рН = 6.86 (ГОСТ 8.135-74); розчину калію фталієвокислого 0,05 М, рН = 4.001 при + 20 °С (ГОСТ 8.134-98); розчину тетраоксалату калію 0,05 М, рН = 1.644 при + 20 °С (ГОСТ 8.134-98).

## **Висновки до розділу 2**

1. Наведена характеристика Каспійського моря з позицій техногенного навантаження на нього як об'єкта досліджень. Встановлено, що найбільшими забруднюючими галузями є сільське господарство, промисловість, зокрема і нафтогазова, й урбанізація.

2. Описана методика дослідження на основі дистанційного зондування через сканери супутників у видимому діапазоні за яскравістю розсіяного і відбитого водною поверхнею сонячного світла, що дає можливість оцінити ступінь забруднення поверхні Каспію нафтою та нафтопродуктами.

3. Визначено підходи до оцінювання техногенного навантаження на морські екосистеми. Встановлено, що перспективними є системний підхід та інтегрально-диференційний метод.

4. Описана модель розрахунку поширення нафти у водному середовищі.

5. Описана методика експерименту, що стосується розроблення біохімічної технології очищення морського середовища від нафти.

Результати за розділом опубліковані у працях [18, 84].

## РОЗДІЛ 3 МОНІТОРИНГ КАСПІЙСЬКОГО РЕГІОНУ

### 3.1 Постановка задач екологічного моніторингу Каспійського моря

Екологічний стан Прикаспійського регіону, зокрема і Каспійського моря, досліджується досить давно. У нашій роботі особливе місце займають матеріали космічних спостережень, при цьому використовувалися стандартні вже відпрацьовані програми, такі як «Ураган», супутниковий сервіс SeetheSee (STS). Основа цих методів – прийом цифрових даних із різних радіометрів (MODIS, SeaWiFS) та альтиметрів, встановлених на зарубіжних супутниках, що дозволяють отримувати оперативну інформацію. Отримана інформація дозволяла відслідковувати екологічний стан акваторії. Накопичено великий обсяг супутникової інформації.

На сьогодні екологічний моніторинг з використанням сучасних методів дослідження неможливий без дистанційної діагностики, особливо таких об'єктів, як моря і океани.

Регіон Каспійського моря унікальний своїми природними багатствами і є найбільшою безстічною водоймою на Землі. Антропогенне забруднення Каспійського моря викликає особливе занепокоєння, що обумовлюється складною екологічною ситуацією в його акваторії. Основні екологічні проблеми Каспійського моря: погіршення стану навколишнього середовища, катастрофічне зменшення запасів промислових видів риб, активна зміна берегових ландшафтів, зміна прибережної інфраструктури. Техногенний вплив на екосистему спричиняють діяльність нафтогазової інфраструктури, викиди нафти при видобутку, транспортування хімікатів, затоплення відпрацьованих свердловин. Ускладнена екологічна ситуація в цьому регіоні обумовлена поєднанням негативних природних і антропогенних факторів, а також деградацією природних комплексів берегової зони через зміну промислової інфраструктури і екосистеми моря.

Екологічна напруженість регіону викликана такими факторами:

- нерегульовані річкові стоки із забруднювальними скидами, аграрними добривами;
- промислові зони, сільськогосподарські угіддя, зміни інфраструктури промисловості;
- змив забруднюючих речовин із прибережних зон при приливах і відливах;
- техногенний вплив нафтових розливів, аварійних викидів забруднень судноплавства, освоєння нафтогазових родовищ;
- забруднення через атмосферу викидами промислових підприємств і транспортної інфраструктури;
- несанкціоноване скидання твердих побутових відходів;
- обмежена кількість очисних споруд при скиданні муніципальних стічних вод;
- складна санітарно-епідеміологічна ситуація;
- відсутність міждержавної координації природоохоронної діяльності.

Каспійське море розглядається як основне джерело енергетичної безпеки прибережних держав. Нафтові запаси регіону становлять понад 200 мільярдів барелів. Розвідка, видобуток і експлуатація нафтогазових родовищ є основним техногенним забруднювачем акваторії моря. На всій території Каспійського моря викиди перевищують гранично допустимі норми, в деяких зонах є, навіть, занадто високими.

Сьогодні в Каспійському регіоні працюють міжнародні транснаціональні нафтогазові корпорації більш ніж із 15 країн світу. Інтерес пояснюється величезними запасами вуглеводневої сировини (12-15% загальних нафтогазових запасів світу).

Промислова складова, що техногенно впливає на навколишнє середовище, визначена певними великими промисловими об'єктами: газоконденсатний комплекс в Астраханській області, йодо-бромистий завод Челекен (Туркменістан), хімічне виробництво Сумгаїт (Азербайджан).

У місцях видобутку вуглеводневої сировини в результаті скидання високомінералізованих вод, видобутих із нафтових свердловин, утворилися «розливи-озера», які становлять загрозу екосистемі Каспію. Масштабне і зростаюче забруднення Каспійського моря і прибережних зон непоправно впливає на екосистему Каспію та призводить до зникнення деяких представників фауни та флори.

Відсутність правового статусу Каспію вимагає напрацювання оперативної інформації щодо антропогенних впливів на природне середовище. До сьогодні прибережні держави дієво не взаємодіють щодо ефективного управління збереженням біорізноманіття регіону та дотримання екологічної безпеки.

Моніторинг з МКС – актуальний, оперативний і достовірний метод контролю за станом навколишнього середовища, Прикаспійського регіону зокрема. Отримання космічної інформації та її аналіз дозволяють оперативно та з високою точністю відображати екологічний стан, визначати джерела техногенного забруднення досліджуваного регіону.

Досвід проведення комплексного супутникового моніторингу та подальший розвиток комплексного підходу до вирішення завдання контролю нафтового забруднення морської поверхні з космосу використовувалися нами при проведенні цілорічного щоденного оперативного супутникового моніторингу акваторії Каспійського моря [92], який проводився колективом лабораторії з початку 2009 року по квітень 2012 року, коли припинив своє функціонування на орбіті супутник Envisat. Після виведення на орбіту супутника Sentinel-1, оснащеного радіолокатором з синтезованою апертурою (РСА), роботи були відновлені і продовжені.

Під час виконання моніторингу визначалися плівкові забруднення поверхні морської акваторії, на основі супутникових даних виявлялися плівкові забруднення чотирьох основних типів, що обумовлені:

- скидами морськими суднами вод, що містять нафтопродукти;
- плівковими забрудненнями змішаного антропогенного і природного походження;

– нафтовими забрудненнями від розливів, аварій при розробці та транспортуванні вуглеводневої сировини.

### **3.2 Аналіз забруднень морської поверхні в районах видобутку нафти на морському шельфі**

Під час супутникового моніторингу картина поверхневих забруднень Каспійського моря нафтовими плівками має деякі особливості і зумовлена природними особливостями Каспійського моря. Основне – наявність великих запасів нафти і газу в його надрах. Прогнозована оцінка запасів нафти в Каспійському морі складає більше 265 мільярдів барелів. У цьому регіоні вперше в світі був здійснений морський видобуток. Каспій відноситься до найбільших нафтових регіонів світу.

Основний фактор впливу забруднення поверхні Каспійського моря є розвідка та експлуатація нафтових родовищ. Щорічно Каспій має обсяг понад мільйон тонн забруднюючої нафти.

Як видно з наведеної на рисунку 3.1 узагальненої карти забруднень, можна виділити два основних райони найбільш інтенсивного забруднення морської поверхні Каспійського моря, якими є області Апшеронського і Бакинського архіпелагів, а також Західний борт Південно-Каспійської западини.

Основним джерелом поверхневого забруднення відкритих ділянок моря в центральній його частині і в області Апшеронського та Бакинського архіпелагів є надходження нафти при видобутку та розвідувальному бурінні, підводному ремонті свердловин, при аварійних розривах нафтопроводів і зачистці викидних ліній, а також з природних та особливо штучних грифонів (вихід нафти на поверхню моря). При цьому кількість нафти, що викидається під час дії грифона, може коливатися від 100 до 500 тонн на добу.

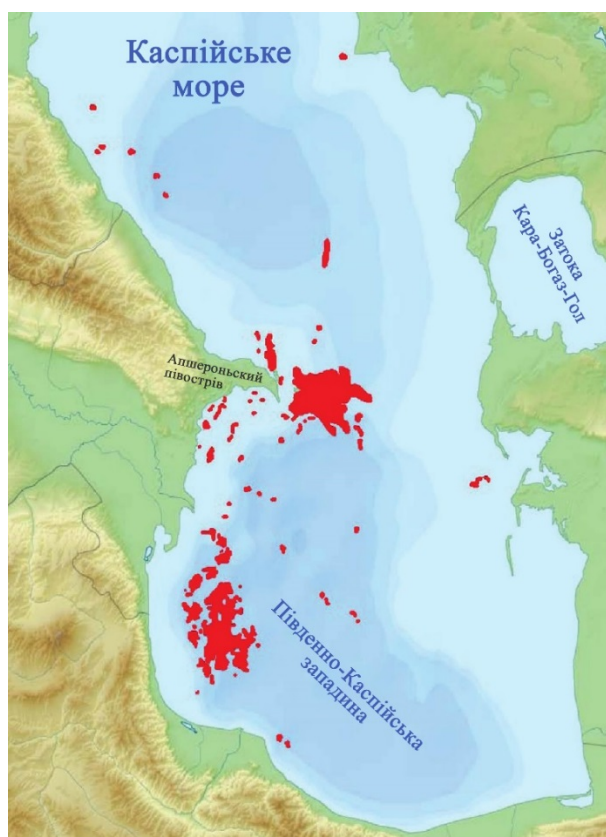


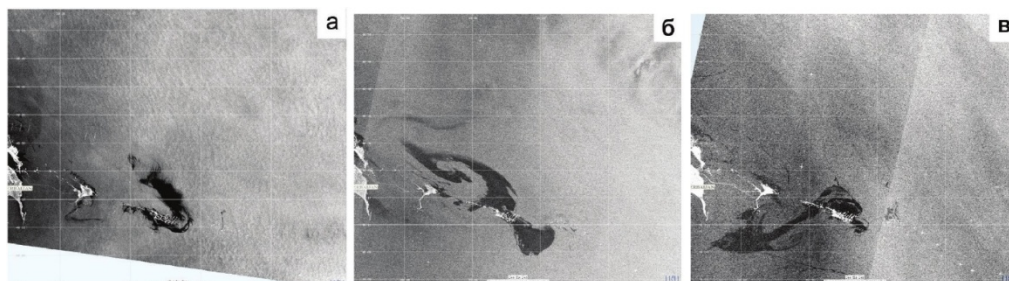
Рисунок 3.1 – Зведена карта нафтових забруднень поверхні Каспійського моря, виявлених в результаті аналізу даних супутникової радіолокації за 2009-2011 роки

На всіх без винятку радіолокаційних зображеннях, отриманих нами під час моніторингу в районах нафтовидобутку, ідентифікуються нафтові плями, причому сліди нафти виявляються найчастіше на площі понад 800 км<sup>2</sup> навколо морських бурових платформ. Дані, отримані в 2014-2015 та 2009-2011 роках, порівнювалися з архівними даними за 2003, 2006 і 2007 роки. Виявилось, що ситуація практично не змінюється.

Факторами, що найбільше впливають на розмір, форму та напрям поширення нафтового забруднення навколо нафтовидобувної платформи, є приповерхневий вітер і поверхневі течії. Система поверхневих течій в районі нафтовидобутку «Нафтові Каміні» є складною і відрізняється нестійкістю. Саме в цьому районі спостерігаються найвищі в акваторії Каспію швидкості поверхневих течій, що досягають 10 см/с. Наші спостереження показують, що на першій стадії своєї еволюції нафтове забруднення розтікається і поширюється в основному під дією



приповерхневого вітру. Потім нафтова пляма може захоплюватися поверхневими течіями і поширюватися цими течіями на досить великі відстані або ж опинитися втягнутою у вихрові рухи. Приклади еволюції нафтових забруднень поблизу нафтовидобувної платформи «Нафтові Камені» представлені на рисунку 3.2. Можна бачити, що площа акваторії Каспійського моря поблизу платформи з тією або іншою частотою піддається нафтовому забрудненню, перевершує 6000 км<sup>2</sup>, що є серйозним чинником, що призводить до ряду негативних екологічних наслідків і погіршує екологічну ситуацію в Каспійському морі.



- а) фрагмент радіолокаційного зображення Sentinel-1 SAR, отриманого 05.01.2015 в 2:43 UTC, площа нафтового забруднення – 205 км<sup>2</sup>;
- б) фрагмент радіолокаційного зображення Envisat ASAR, отриманого 01.08.2010 в 6:42 UTC, площа нафтового забруднення – 445 км<sup>2</sup>;
- в) фрагмент радіолокаційного зображення Envisat ASAR, отриманого 24.06.2010 в 6:36 UTC, площа нафтового забруднення – 325 км<sup>2</sup>

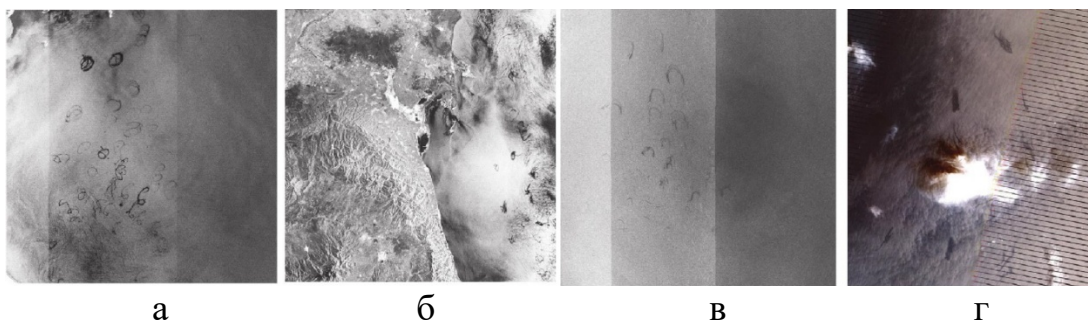
Рисунок 3.2 – Приклади еволюції нафтового забруднення в околиці нафтовидобувної платформи «Нафтові Камені» під впливом вітру і течій

### 3.3 Радіолокаційні спостереження забруднень морської поверхні в районах природних виходів вуглеводнів на морському дні

Південно-західна частина Каспійського моря, як зазначалося вище, Західний борт Південно-Каспійської западини також відноситься до районів найбільш інтенсивного забруднення морської поверхні Каспійського моря (рисунок 3.1). На північно-західному борту Південно-Каспійської западини сконцентрована

найбільша кількість підводних вулканів (понад 300), притому великих. Більшість грязьових вулканів Південно-Каспійської западини знаходиться в грифонній стадії розвитку, виділяючи мулистий бруд, воду, газ і нафту. Активізація підводних вулканів і грифонів в місцях розвантаження вуглеводнів призводить до появи на воді грязьових і нафтових плям. Існує безліч публікацій, присвячених різнобічним дослідженням цього явища, зокрема проводився аналіз їх проявів на радіолокаційних знімках.

Характерні приклади плівкових забруднень, детектованих на радіолокаційних зображеннях морської поверхні в південно-західній частині Каспію, наведені на рисунку 3.3. Аналіз просторової мінливості поверхневих проявів, подібних тим, що представлені на рисунку 3.3, показав, що їх географічний розподіл співвідноситься з географічним розподілом місць локалізації підводних грязьових вулканів.



а) фрагмент радіолокаційного зображення Envisat ASAR, отриманого 19.06.11 о 18:32 UTC; б) фрагмент радіолокаційного зображення Envisat ASAR, отриманого 28.05.11 о 18:38 UTC; в) фрагмент радіолокаційного зображення Envisat ASAR, отриманого 26.05.11 о 06:59 UTC; г) фрагмент кольоросинтезованого зображення (канали 3, 2, 1) Landsat 7, отриманого 28.05.11 в 7:13 UTC

Рисунок 3.3 – Грязьовулканічні прояви в Південному Каспії на супутникових зображеннях

На рисунку 3.4 наведена карта розташування грязьових вулканів Південно-Каспійського басейну, на якій червоні прямокутники показують положення

фрагментів радіолокаційних зображень, наведених на рисунку 3.3. Нами були проаналізовані всі радіолокаційні зображення акваторії Каспійського моря в районі Південно-Каспійської западини, отримані за період січень 2009 року – квітень 2012 року, вони містять поверхневі прояви грязьового вулканізму (так звані природні грифони), та розглянута залежність частоти прояву грифонів в радіолокаційних даних від кількості та магнітуд землетрусів у Південному Каспії і прилеглих до нього районах.

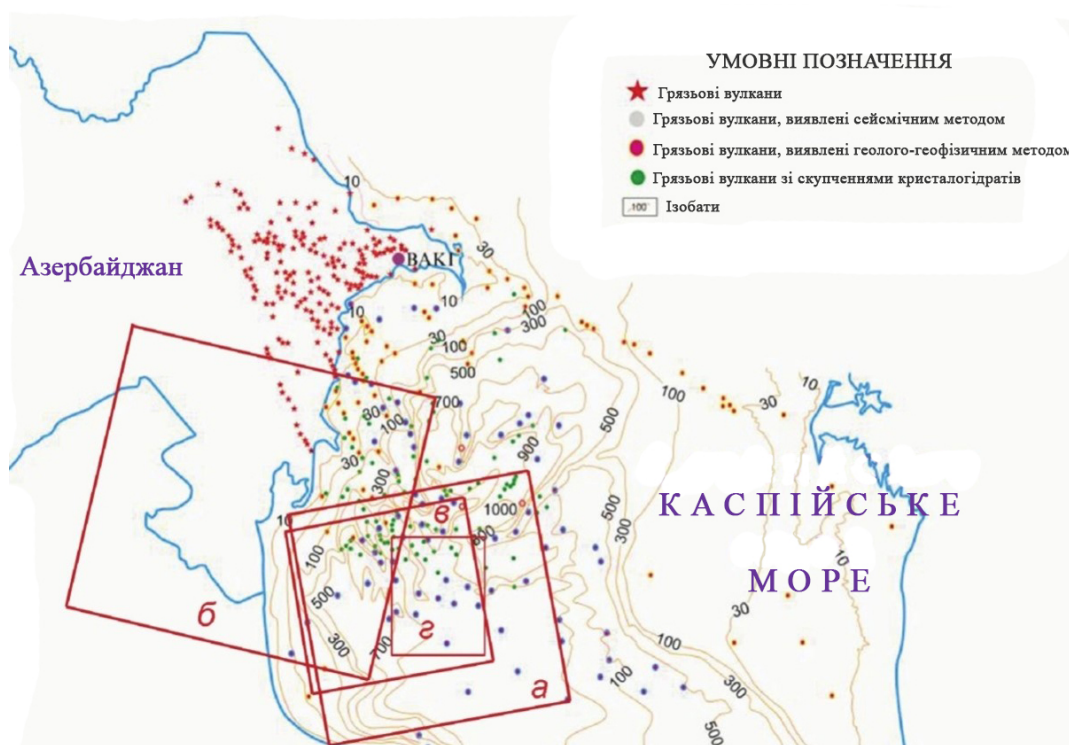
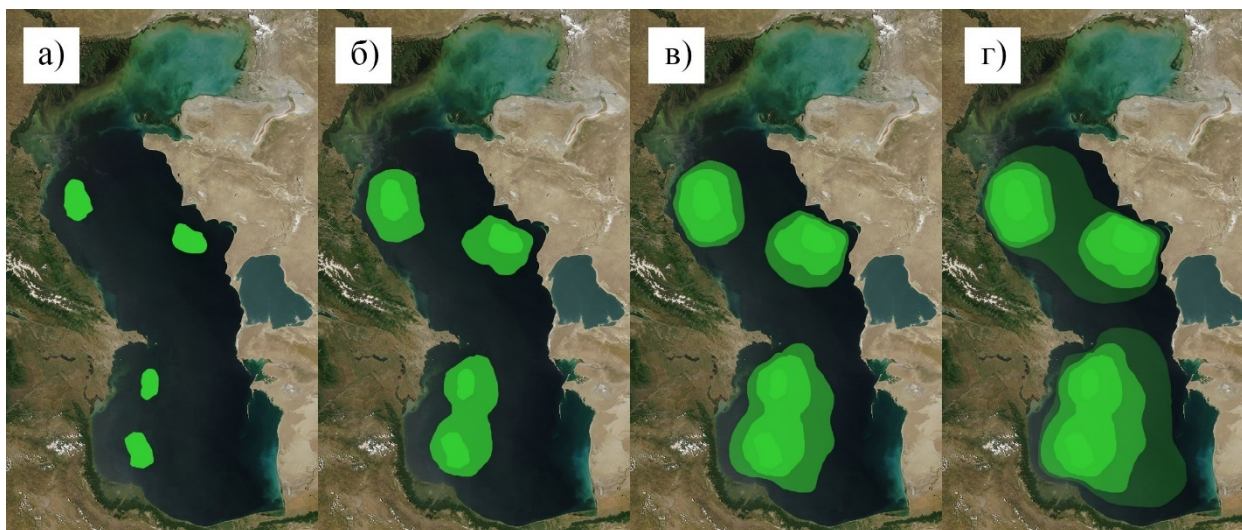


Рисунок 3.4 – Карта розташування грязьових вулканів  
Південно-Каспійського басейну

Виявлена досить висока кореляція між проявами грифонів на супутникових зображеннях і землетрусами з магнітудою 3-4 бали.

За результатами розрахунків середня концентрація нафтових забруднень знаходиться в межах ГДК. Однак обсяг забрудненої поверхні постійно збільшується (рисунок 3.5).



а) 2009 рік; б) 2015 рік; в) 2019 рік; г) 2021 рік

Рисунок 3.5 – Просторовий розподіл нафтового забруднення по акваторії Каспійського моря

Аналіз просторового розподілу нафтового забруднення акваторією Каспію показує, що основна маса забруднень припадає на північно-західну частину Каспійського моря.

Особливістю циркуляції північної частини Каспійського моря є існування стійкої течії вздовж східного берега, спрямованої на північ, і течії, спрямованої на південь вздовж північної частини західного берега моря. У південно-західній частині Середнього Каспію розташований антициклонічний вихор, який перешкоджає переносу вод, а, отже, і нафтових забруднень, на південь з Середнього Каспію.

Результати аналізу даних оперативного багатосенсорного супутникового моніторингу Каспійського моря і аналізу багаторічних рядів супутникових даних за 2007–2020 рр.

Проведено картографування різних типів нафтових забруднень поверхні Каспійського моря, виявлених за супутниковими даними за 2017–2020 рр. При детектуванні нафтових забруднень морської поверхні Каспійського моря і їх картографуванні особлива увага приділялася «гарячим точкам», тобто районам

найбільш інтенсивного забруднення поблизу джерел забруднення морської поверхні Каспійського моря.

Окреслено основні зони нафтового забруднення, характерні для різних зон Каспійського моря, а також основні закономірності його поверхневого забруднення нафтовими плівками (рис. 3.6).



1 – район нафтовидобутку Нафтові Камені; 2 – кластер грязьових вулканів на морському дні Південно-Каспійської западини; 3 – природні виходи вуглеводнів з морського дна в районі мису Сефід Руд; 4 – природні виходи вуглеводнів з морського дна на захід від півострова Челекен; 5 – основні судноплавні траси, позначені зеленими лініями

Рисунок 3.6 – Райони найбільш інтенсивного забруднення і джерела забруднення морської поверхні Каспійського моря, виявлені на основі даних супутникового дистанційного зондування

Характер поверхневого нафтового забруднення Каспійського моря визначається його особливими природними властивостями, а саме великими родовищами нафти і газу. Визначено райони найбільш інтенсивного забруднення морської поверхні, виявлені джерела забруднення, і на основі супутникових даних складені докладні карти нафтового забруднення морської поверхні в цих районах.

У Середньому Каспії основним джерелом забруднення є розвідка та експлуатація нафтових родовищ, забруднення морської поверхні нафтою в районі Нафтових Каменів обумовлено забрудненням від покинутого обладнання, а також природним виходом нафти з тріщин кам'яної гряди Чорні Камені. Природний вихід нафти спостерігається в районі Челекенського півострова, а також в районі туркменського шельфу.

Район Південно-Каспійської западини має численне плівкове забруднення нафтою, походження якого є наслідком вулканізму на морському дні.

Нафтовмісне плівкове забруднення багато в чому обумовлено скидами морського транспорту, танкерів, риболовецьких суден і поромів. Характерні райони – це Актау – Баку, Туркменістан, Махачкала.

За допомогою програмного комплексу GNOME Suite (Oil Spill Modeling) було виконане комп'ютерне моделювання просторового розподілу у часі нафтової плями у результаті розливу 100 тонн нафти у Північному Каспії в районі дельти річки Волга. Для цього враховували кількісні характеристики водного потоку р. Волга та швидкість вітру у акваторії моря. Результати моделювання представлені на рис. 3.7.

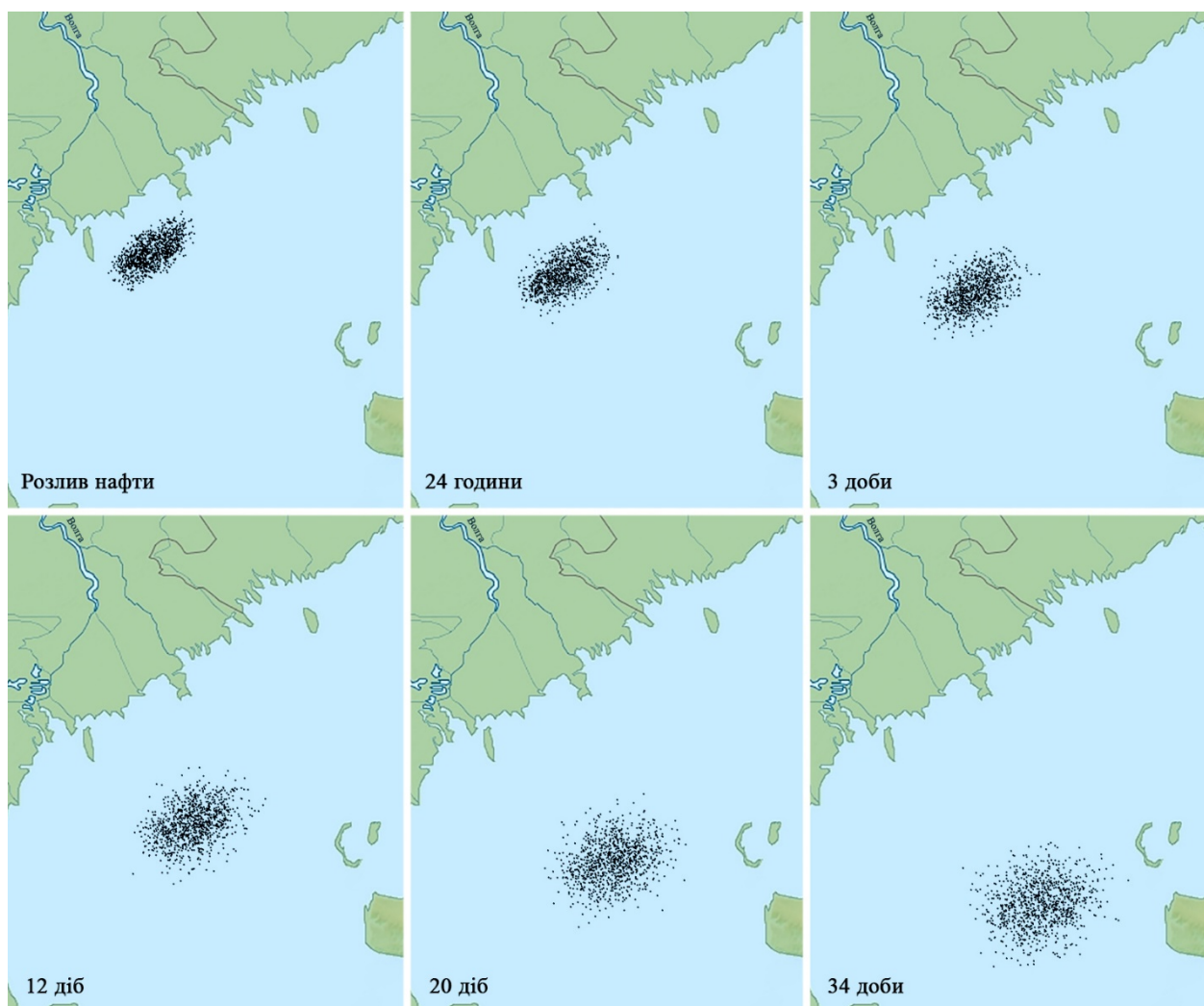


Рисунок 3.7 – Комп'ютерне моделювання просторового розподілу у часі нафтового забруднення у Північному Каспії за допомогою GNOME Suite (Oil Spill Modeling)

Результат комп'ютерного моделювання підтверджує дані моніторингу нафтового забруднення Каспійського моря та може застосовуватися для прогнозування просторового розповсюдження нафтових плям за акваторією Каспію.

На рисунку 3.8 наведені дані щодо площі нафтового забруднення в районі Нафтових Каменів, мису Сефід Руд та півострову Челекен.

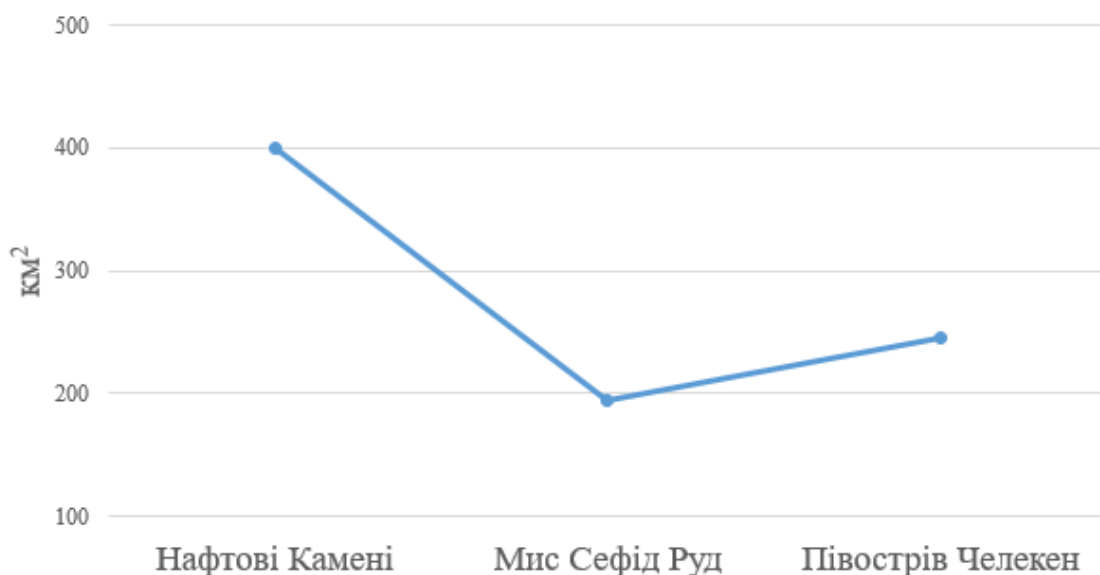


Рисунок 3.8 – Площа нафтового забруднення в районі Нафтових Каменів, мису Сефід Руд та півострову Челекен

Необхідно відзначити, що нафтові забруднення дуже залежать від пори року (сезонна мінливість) (рис. 3.9).

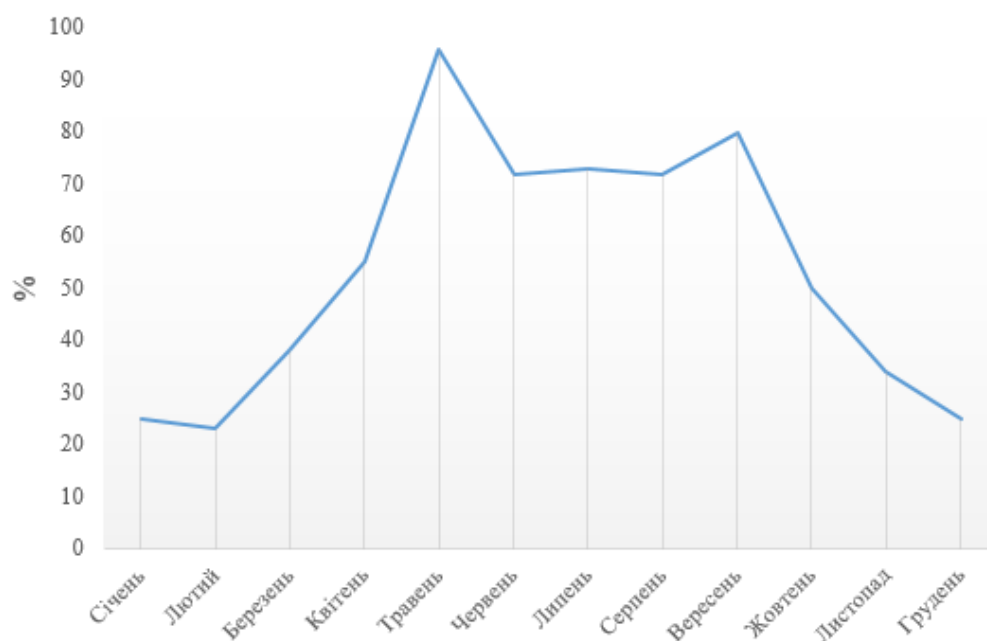


Рисунок 3.9 – Сезонна мінливість нафтового забруднення Каспійського моря

Аналіз досліджень показує зростання нафтових плівкових забруднень, на основі яких можна виявити зони обов'язкового очищення і захисту від техногенного впливу.



Відкриття та освоєння нової нафтогазоносної субпровінції на території континентального шельфу Каспійського моря зробило регіон одним з найперспективніших для видобутку нафти в XXI столітті [93]. Каспійське море – найбільша в світі, що не має аналогів, внутрішньоконтинентальна водойма площею понад 398 тис. км<sup>2</sup>, не пов'язана зі Світовим океаном. В даний час доведені запаси нафти Каспійського регіону оцінюються в 5,4 млрд тонн (3,2 % від загальносвітових), запаси газу – 8 трлн м<sup>3</sup> (5 % від загальносвітових) (рис. 3.10).

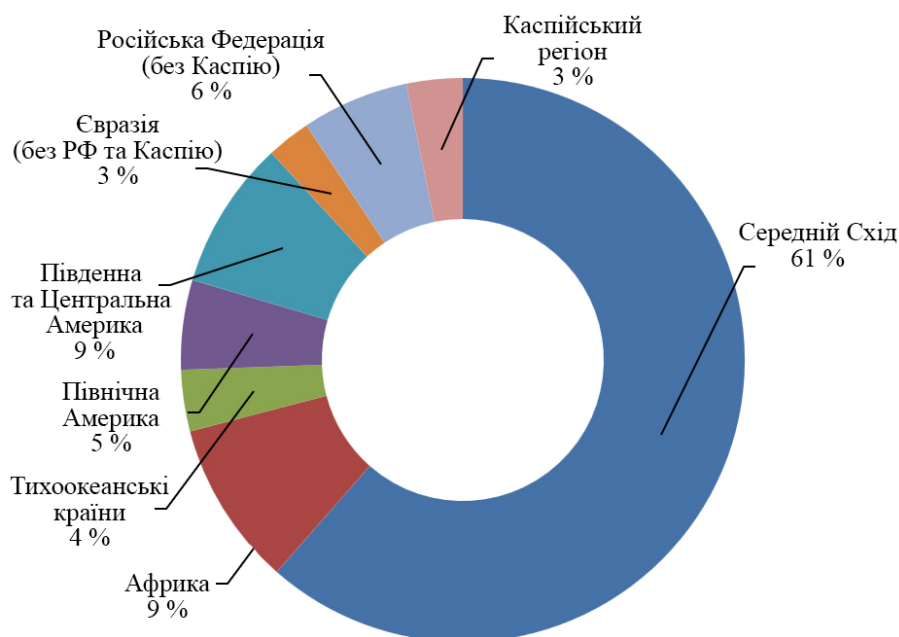


Рисунок 3.10 – Розподіл доведених світових запасів нафти

Інтенсивний видобуток нафти на Каспії за рахунок її порівняно низької собівартості тягне за собою ряд екологічних проблем. Техногенне навантаження на природне середовище регіону виражається як в прямому впливі на біоту хімічних і фізичних факторів, так і в непрямому – шляхом зміни середовища проживання морських гідробіонтів. За даними Каспійського регіонального тематичного Центру по контролю за забрудненням (Каспійська екологічна програма), щорічно в море з різних джерел надходить до 122,35 тис. тонн нафтопродуктів. Ситуація ускладнюється процесами накопичення, розкладання і

поховання токсикантів, що надходять у море, що характерно для безстічних водойм [93].

Інше джерело надходження нафтопродуктів в Каспійське море – промисловий і господарський стік міст і селищ, розташованих уздовж прибережної смуги моря. У Каспійському регіоні зосереджено 200 великих міст більш ніж з 220 джерелами забруднення водного басейну. Тут щорічно скидається приблизно 39 км<sup>3</sup> стічних вод, з яких майже 8 км<sup>3</sup> забруднені. Разом зі стічними водами в море скидається до 30 тонн нафтових вуглеводнів. За рамками статистичної звітності залишаються зливові стоки населених пунктів, а також аварійні скиди.

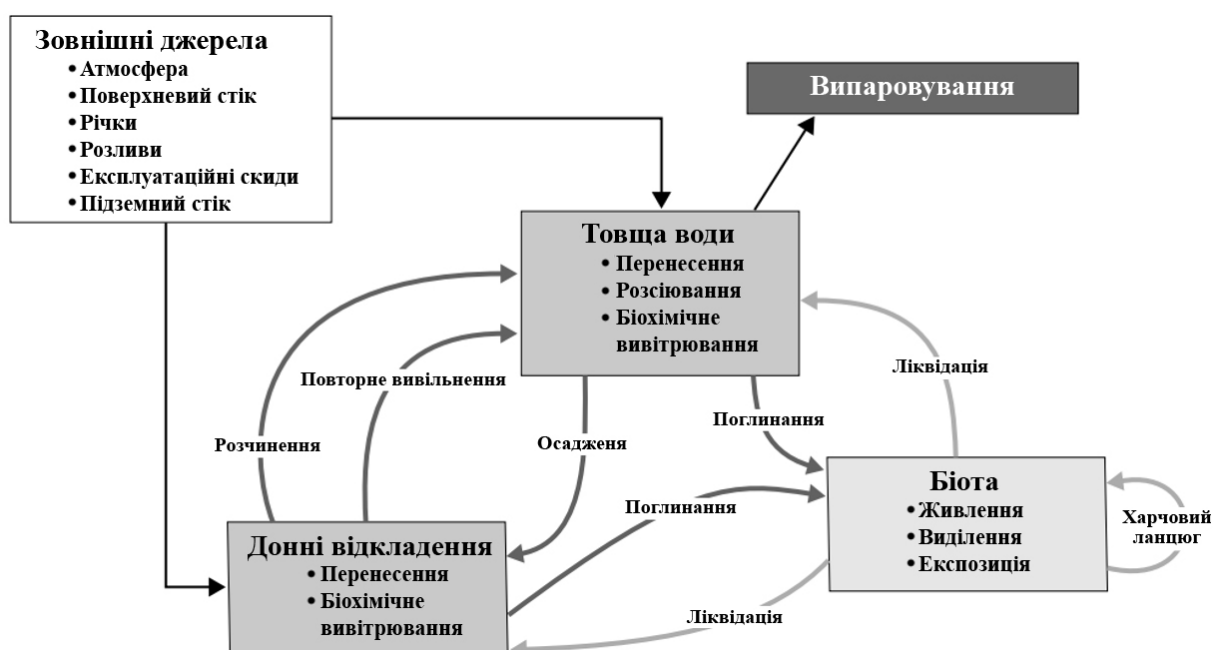


Рисунок 3.11 – Детальна взаємодія концептуальної моделі долі нафти в морському середовищі

На кінетику розкладання нафти і нафтопродуктів у морському середовищі впливають зовнішні фактори, що мають відношення до властивостей і характеристик того середовища, в яке потрапляє нафта. Експерименти показали, що температурний фактор є визначальним у кінетиці розкладання нафти і нафтопродуктів. У загальних випадках швидкість хімічних реакцій з підвищенням температури на 10 °C збільшується в 2–4 рази, а зниження температури

середовища істотно гальмує не тільки фізико-хімічні, а й біохімічні процеси, що пов'язані з деструкцією і трансформацією різних речовин. Це пояснюється тим, що температурні умови безсумнівно впливають на темпи відтворення бактеріальної маси – зі зменшенням температури знижується загальна чисельність і кількість гетеротрофних організмів.

Збільшення солоності морської води також негативно впливає на біохімічне окислення нафтових вуглеводнів. При зміні солоності на 1 % період напіврозпаду нафтових вуглеводнів змінюється на 22 години. Однак для кожного морського регіону зміни солоності в цілому дуже незначні, і різкі градієнти солоності спостерігаються в основному в зонах впливу річкового стоку і танення (виникнення) льодів. Те ж саме можна сказати і про вплив рН середовища на біохімічне окислення нафтових вуглеводнів. Таким чином, ефект зміни періоду напіврозпаду нафтових вуглеводнів від температури в 25 разів більше, ніж від зміни рН і в 8 разів більше, ніж від зміни солоності.

Якщо важкорозчинні залишки нафти разом з включеними в них неорганічними і органічними домішками по щільності наближаються до щільності морської води (або перевищують її), то в цьому випадку відбувається їх седиментація. В результаті нафтові агрегати можуть осідати на дно або вимиватися на берег, що призводить до очищення водної товщі. У свою чергу, донні відкладення при хвильовому каламученні можуть бути джерелом забруднення морських вод [93].

### **3.4 Оцінювання техногенного впливу на морські екосистеми Каспію**

#### **3.4.1 Системний підхід до оцінювання техногенного навантаження**

Техногенне навантаження на морські екосистеми присутнє на всіх етапах виробничого циклу нафтовидобувної діяльності – під час геологорозвідувальних робіт, бурінні свердловин, видобутку нафти і газу, їх підготовці та зберіганні, транспортуванні та переробці. Адекватна оцінка впливу досліджуваного процесу

передбачає виділення чотирьох основних етапів розробки нафтових і газових родовищ (рис. 3.12). Такий підхід пов'язаний з наявністю різних за природою екодеструктивних факторів, що спричиняють параметричне та інгредієнтне забруднення [84].

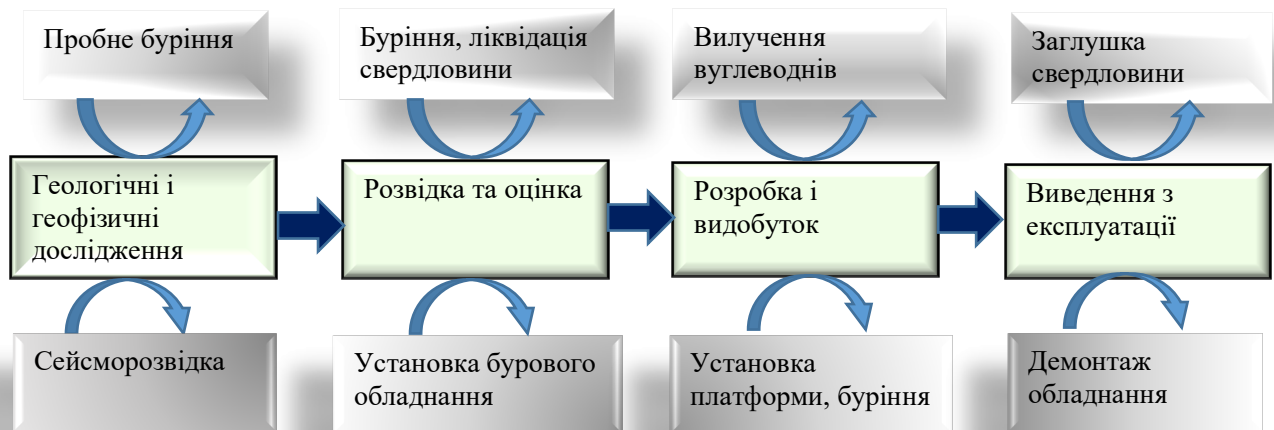


Рисунок 3.12 – Структурно-стадійна схема процесу розробки нафтових родовищ [84]

Для прогнозування сили та значимості негативного впливу виділених вище стадій процесу видобутку нафти на морських гідробіонтів необхідно враховувати як зовнішні чинники, так і структуру внутрішніх взаємозв'язків, що виникають між різними екологічними групами організмів. В екологічних системах ключовими є трофічні зв'язки, оскільки вони визначають місце кожного трофічного рівня у харчовому ланцюгу та найбільш повно й адекватно засвідчують взаємозалежність продуцентів, консументів та редуцентів. У межах біоценозів водного середовища під впливом абіотичних екологічних факторів формуються такі укрупнені категорії гідробіонтів: фітопланктон, зоопланктон, зообентос, перифітон, що утворюють досить складну комплексну систему [84].

Сейсморозвідувальні роботи носять негативний, навіть, летальний характер для зоопланктону, зокрема, іхтіопланктону в радіусі від 2–3 до 5–7,5 м, максимум – до 10 м [94]. Одиначні пневматичні джерела (ПД) утворюють зони екологічної небезпеки, у межах яких тиск досягає 0,3 МПа і вище, і як наслідок, смертність серед планктонних організмів становить 80–100 %. Граничний радіус впливу

залежить не лише від параметрів джерела, а й від індивідуальних властивостей реципієнтів, передусім, розмірів організмів, будови тіла, таксономічних одиниць, значення яких значним чином варіюються для представників екосистем північних морів та субтропіків.

Технологічний процес буріння свердловин, не залежно на суші чи на морі, передбачає використання бурового розчину, до складу якого входить цілий спектр хімічних речовин, об'єднаних у групи за функціональним призначенням: інгібітори корозії, мастильні речовини, емульгатори, диспергатори, поверхнево-активні речовини, загущувачі, пінні агенти тощо. Існує висока ймовірність надходження до водного середовища забруднюючих речовин II–IV класу небезпеки внаслідок потрапляння відпрацьованого бурового розчину, бурового шламу, бурових стічних вод. Токсичною дією по відношенню переважно до морських безхребетних, риб та ссавців володіють такі складові компоненти відходів, як іони важких металів, нафтові вуглеводні та радіоактивні елементи. У випадку недотримання вимог найбільшої шкоди зазнають організми, які перебувають на вищих трофічних рівнях, що обумовлено принципами біомагніфікації. Тому можливі різні сценарії розвитку екосистем під впливом хімічного забруднення, домінуючим серед якого є нафтове. За експертними оцінками щорічно до вод Світового океану внаслідок нештатних ситуацій та транспортування нафти надходить близько 500 тис. тонн сирого продукту. Додатковим джерелом є біогенне утворення, оскільки для деяких бактерій кінцевим продуктом метаболізму є аліфатичні та циклічні вуглеводні. Найбільшої небезпеки завдають тонкі нафтові плівки на поверхні води, які на підставі гідрофобності та неполярності молекул порушують механізм газообміну на межі розділу фаз рідина (морська вода) – газ (атмосферне повітря). Унаслідок цього настає гіпоксія у риб, ссавців, менш чутливими є представники бентосу, до складу якого входять такі найбільш розповсюджені види: черв'яки *Nereis*, молюски *Dreissena*, *Didacna*, ракоподібні *Corophiidae*, *Cumacea*, *Gammaridae*. У зв'язку із специфічною чутливістю та відгуком реакції у дафній, артемій, до дії нафти та компонентів бурового шламу їх рекомендовано використовувати як тест-

об'єкти під час проведення біотестування та експериментального визначення класу небезпеки відходів (рис. 3.13).

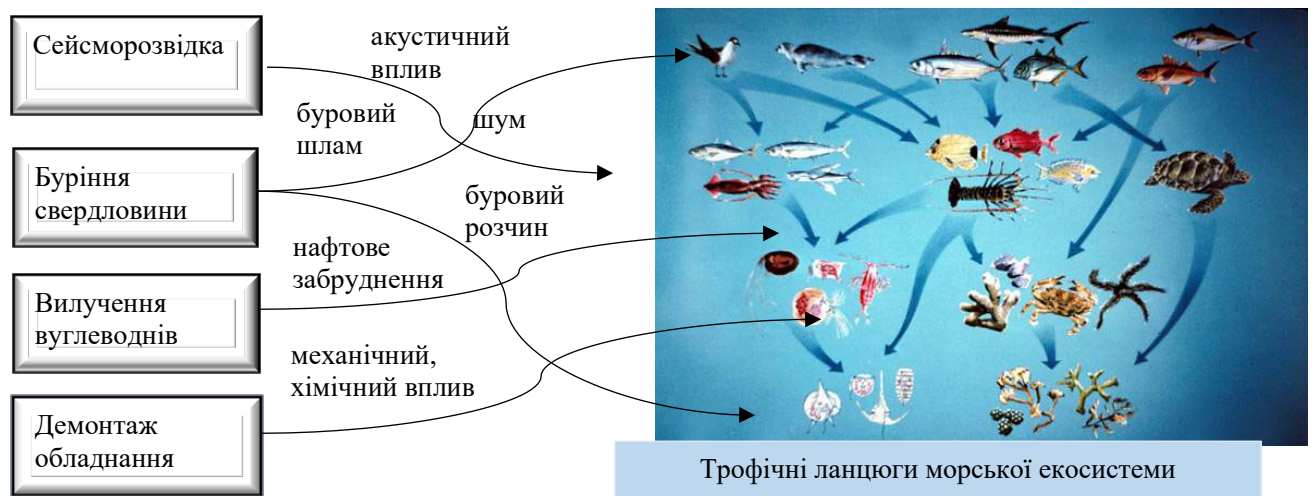


Рисунок 3.13 – Схематичне відображення характеру впливу дестабілізуючих факторів на гідробіонтів під час кожного етапу нафтовидобувної діяльності [84]

Ізотопи радіоактивних елементів надходять до водного середовища переважно під час розробки родовища та видобутку нафти внаслідок скиду пластових вод та бурових стічних вод, забруднених  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  та продуктами розпаду –  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ , що обумовлено їх контактом з гірськими породами. Сила та характер ефекту певних доз радіоактивного випромінювання на окремі види організмів залежить від низки факторів, які можна об'єднати у три категорії, пов'язані з: 1) джерелом впливу; 2) параметрами середовища; 3) характеристиками реципієнта. До першої категорії віднесемо: тип радіації ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ -випромінювання); вид (зовнішнє чи внутрішнє); ізотопи радіоактивних елементів з різними фізико-хімічними властивостями, що визначає ступінь біодоступності, місце локалізації та акумуляції в організмі. До другої – температура, мінералізація, рН, Eh середовища. До третьої – таксономічна приналежність та індивідуальні особливості організму.

### 3.4.2 Оцінка впливу на екосистеми за інтегрально-диференційним підходом

Проаналізувавши специфіку впливу на гідробіонтів на кожному етапі нафтовидобувної діяльності стало можливим ідентифікація домінантних факторів впливу та їх внесок у комплексне техногенне навантаження. Встановлено, що зважаючи на принципи біоаккумуляції та біомагніфікації, вища концентрація полютанту з розрахунку на одиницю маси тіла характерна для вищих трофічних рівнів. Тому на підставі описаних категорій значущості оцінено ступінь впливу на морських ссавців, птахів та рибу у результаті проведення технологічних операцій, що супроводжуються хімічним та параметричним забрудненням водного і повітряного середовища (табл. 3.1) [84].

Таблиця 3.1 – Оцінка впливу нафтовидобувної діяльності на морські екосистеми за категоріями значущості

| Вплив \ Реципієнт       | Шум і дослідницькі судна | Скид стічних вод | Викиди у результаті спалювання | Видалення твердих і небезпечних відходів | Випадкові розливи та витоки |
|-------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------------|--|-----------------------------|
| Китоподібні і ластоногі | II                       | IV               | IV                             | IV                                       | III                         |
| Морські риби            | IV                       | IV               | IV                             | IV                                       | III                         |
| Морські безхребетні     | III                      | IV               | IV                             | IV                                       | III                         |
| Морські птахи           | IV                       | IV               | IV                             | IV                                       | III                         |
| Якість води             | IV                       | IV               | IV                             | IV                                       | III                         |
| Якість повітря          | IV                       | IV               | IV                             | IV                                       | III                         |

Дані таблиці 3.1 свідчать про найбільшу шкоду акустичного впливу на китоподібних та ластоногих під час проведення сейсмозв'язувальних робіт. Випадкові розливи та витоки, що характеризуються мінливістю складу і кількості,

становлять небезпеку для всіх компонентів морської екосистеми. Інші технологічні операції у випадку дотримання встановлених вимог володіють нехтовно малим ефектом.

Адекватну оцінку впливу процесу освоєння морських родовищ та видобутку нафти на якість середовища можна здійснити на підставі розробленої системи інтегральних категорій індикаторів. Нами обрано та обґрунтовано сім категорій індикаторів: параметри води; фітопланктон; зоопланктон; морські риби; морські птахи; морські ссавці; бентос. Структурно-організаційна схема індивідуальних індикаторів у межах кожної категорії подана у табл. Г.1 Додатку Г.

Системний підхід до вирішення поставленого завдання передбачає дослідження нафтовидобувної діяльності як системного цілого, тому була проведена декомпозиція процесу на взаємопов'язані складові з метою виділення ключових факторів впливу на всіх стадіях. Визначено, що на етапі проведення сейсморозвідувальних робіт основним екодестабілізуючим чинником є шум, по відношенню до якого китоподібні і ластоногі виступають як найбільш чутливі реципієнти. Буріння свердловин та видобуток нафти супроводжуються забрудненням середовища існування морських гідробіонтів нафтою, буровим шламом, буровими стічними водами, важкими металами, радіоактивними елементами.

### **Висновки до розділу 3**

1. Моніторинг екологічного стану Каспію показав, що основними видами техногенного впливу на регіон є надходження нафти при видобутку, розвідці та транспортуванні, а також ремонт і захоронення відпрацьованих свердловин.

2. Рішення з очищення акваторії Каспійського моря вимагає створення технології утилізації вуглеводневих забруднень.

3. Проведено оцінювання рівня техногенного навантаження на морській екосистеми із застосуванням системного підходу та інтегрально-диференційного методу. Встановлено, що випадкові розливи та витіки, які характеризуються



мінливістю складу і кількості, становлять небезпеку для всіх компонентів морської екосистеми.

4. Для прогнозування рівня навантаження розроблено систему індикаторів та сигнальних показників якості, що враховує як фізико-хімічні властивості абіотичної компоненти екосистеми, так і параметри еколого-трофічних груп біоти.

Результати за розділом опубліковані у працях [84, 93].

## РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ НАФТОВИХ ЗАБРУДНЕНЬ

Сьогодні через збільшення попиту на нафту і нафтопродукти неможливо уникнути ситуацій, за яких неминуче може статися забруднення навколишнього середовища, зокрема й морських акваторій.

Отже, відмітимо, що розглянуті у першому розділі механічні та фізико-хімічні методи боротьби з цими забрудненнями здатні видалити нафту з водної поверхні, однак у боротьбі з емульгованою нафтою і тонкої нафтовою плівкою вони малоефективні. Біоремедіаційний спосіб очищення водної екосистеми допомагає усунути недоліки цих методів і може застосовуватися спільно з ними для більшої ефективності очищення [95].

Відтак, нами пропонується суміщений метод очищення нафтових забруднень, що працює в два етапи і дозволяє досягти високого ступеня очищення. Перший етап очищення – механічний, який забезпечує збір нафти до заданої товщини нафтової плівки, який розраховується на основі фізико-хімічних властивостей нафти і гідродинамічних особливостей морської акваторії.

### 4.1 Розрахунок обсягу нафти, що очищається

Основні джерела надходження нафти і нафтопродуктів в Каспійське море – це судноплавство, експлуатація нафтових і газових свердловин, транспортування нафти морським шляхом, а також вторинне забруднення при днопоглиблювальних роботах.

Місця проникнення забруднювачів з річковим стоком приблизно на 90% зосереджені в Північному Каспію, промислові стоки зосереджені в районі Апшеронського півострова, а підвищене нафтове забруднення Південного Каспію пов'язано з нафтовидобутком і нафторозвідувальним бурінням.

Комплексна оцінка якості морської води з розрахунками індексу забруднення води (ІЗВ) проведена за «Методичними рекомендаціями формалізованої

комплексної оцінки якості поверхневих і морських вод за гідрохімічними показниками» 1988 року. Клас якості морської води за районами моря визначався за шкалою.

У період з 2000 по 2020 рік у відкритих районах моря середній рівень нафтових вуглеводнів змінювався в межах менш ніж 1-6 ГДК (гранично допустима концентрація), а максимальні концентрації перевищували ГДК в 25-30 разів.

Таблиця 4.1 – Шкала визначення класу якості морської води

| Клас якості води | Величина ІЗВ       | Зміни ІЗВ, %              |
|------------------|--------------------|---------------------------|
| I                | Дуже чиста         | $\leq 0.25$ 100           |
| II               | Чиста              | $> 0.25$ до $0.75$ $> 50$ |
| III              | Помірно забруднена | $> 0.75$ до $1.25$ $> 30$ |
| IV               | Забруднена         | $> 1.25$ до $1.75$ $> 25$ |
| V                | Брудна             | $> 1.75$ до $3.0$ $> 20$  |
| VI               | Дуже брудна        | $> 3.0$ до $5.0$ $> 15$   |
| VII              | Надзвичайно брудна | $> 5$ $> 10$              |

Максимальні концентрації фіксувалися в північно-східній частині Каспійського моря.

#### 4.2 Хімічний склад і основні характеристики нафти та нафтопродуктів

Нафта – це складна суміш вуглеводнів (до 98 %), до складу якої також входять кисень (до 3 %), сірка і азот (до 0,4 %), різні метали із загальним вмістом до 0,03 % [80, 81, 88–91]. Склад нафти, видобутої з різних родовищ, може значно змінюватися. Основними компонентами нафти є вуглеводні трьох класів:

– парафін (алкани) – граничні (насичені) вуглеводні, що характеризуються формулою  $C_nH_{2n+2}$ . Кількість атомів вуглецю в парафінах, що містяться в нафті,

змінюється від 6 до 17, температура кипіння змінюється від 5,5 до 22 °С, щільність від 0,66 до 0,78 г/см<sup>3</sup>, розчинність у воді від 3 до 138 мкг/л, зазвичай зміст їх в сирих нафтах 19–25 %.

– нафтени (циклоалкани) – граничні циклічні вуглеводні, які характеризуються формулою C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>. У сирих нафтах містяться нафтени з кількістю вуглеводних атомів від 5 до 9, з температурою кипіння від 49,3 до 141,2 °С, з щільністю від 0,75 до 0,79 г/см<sup>3</sup>. Розчинність у воді незначна. Зміст нафтенів у сирій нафті становить 4–10 %.

– ароматичні вуглеводні – насичені циклічні сполуки ряду бензолу, що містять у кільці на 6 атомів водню менше, ніж у відповідному кільці нафтенів. Кількість атомів вуглецю в ароматичних сполуках, що містяться в сирій нафті, коливається від 6 до 13, температура кипіння від 80 до 354 °С, щільність від 0,87 до 1,25 г/см<sup>3</sup>, розчинність у воді від 20 до 840 мкг/л, вміст їх у сирих нафтах становить від 2 до 40 %.

Нафтопродукти, крім зазначених вище вуглеводнів, можуть містити також олефіни (алкени) – насичені вуглеводні загальної формули C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub> із відкритим ланцюгом і одним подвійним зв'язком C = C. Олефіни відсутні в сирій нафті. Вони є основним продуктом її крекінгу і продуктом окислення.

Крім простих вуглеводнів, до складу нафти входять високомолекулярні вуглеводневі сполуки, що містять метали, смолисто-асфальтенові речовини із загальною вуглеводневою формулою C<sub>n</sub>H<sub>2n-x</sub>.

У сирих нафтах містяться також низькомолекулярні сполуки: нафтеніві кислоти, феноли, сірчисті сполуки (сірководень, сульфід); азотисті сполуки.

### **4.3 Гідродинамічні моделі для розрахунку розтікання нафти та нафтопродуктів**

Видобування природних ресурсів моря, зокрема нафти, завдає збитків навколишньому середовищу – забруднюється море, порушується природний кругообіг речовин та енергії в природі. Забруднення негативно впливає на фізичні,

хімічні та біологічні процеси, що протікають у морі і на кордонах між морем, атмосферою і суходолом.

Зростаюча забрудненість моря нафтою викликає підвищений інтерес не тільки до методів боротьби з причинами такого забруднення, але й до методів розрахунку поширення в морі нафти, яка потрапила сюди з тієї чи іншої причини.

У разі миттєвого локального розливу певного об'єму нафти, цей процес можна представити схематично.

Моделювання розтікання нафтової плівки доцільно проводити для прогнозування масштабів аварійних розливів нафти в море і, як наслідок, зону максимального ураження екосистеми. На початку спостерігається розтікання нафти поверхнею моря під дією сили тяжіння, а потім мають місце сили в'язкості і поверхневого натягу. У процесі розтікання внаслідок випаровування і розчинення у воді змінюються властивості нафти: її щільність і в'язкість зростає, а сумарний поверхневий натяг на межі поділу «вода – нафта – повітря» зменшується. Потім поверхневий натяг змінює знак, розтікання нафтової плівки припиняється. Подальше зростання розмірів плівки визначається вітром і течією, тобто турбулентною дифузією. Під дією турбулентної дифузії нафтова плівка стає мономолекулярною, що сприяє її розриву, і вона починає розриватися.

Подальша поведінка нафти неоднозначна і залежить від індивідуальних фізико-хімічних властивостей сорту нафти та гідрометеорологічних умов.

Основними характеристиками нафтової плівки вважатимемо її радіус і товщину [93]. Процес описується за допомогою рівняння збереження маси для елементарного об'єму нафтової плівки і рівняння руху в'язкої ньютонівської рідини. Рівняння збереження маси для математичної моделі розглянутого процесу в вісьсиметричному випадку можна представити у вигляді

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial(ruh)}{\partial r} = 0.$$

Рівняння руху рідини має вигляд

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial r} = -g\delta \frac{\partial h}{\partial r} - \frac{\tau}{\rho_0 h}.$$

де  $h$  – товщина нафтової плівки, м;  $u$  – усереднена за товщиною плівки швидкість руху, м/с;  $\tau$  – дотичне напруження на нижній межі плівки;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\delta = (\rho_w - \rho_o)\rho_o^{-1}$ ;  $\rho_w, \rho_o$  – щільність води і нафти відповідно, кг/м<sup>3</sup>;  $r$  – радіальна координата;  $t$  – час, с.

Рішення цих диференціальних рівнянь з заданими початковими умовами аналітичними методами дозволило отримати формулу для визначення кінцевого радіусу  $r_k(t)$  нафтової плівки в певний момент часу в вигляді співвідношення

$$r_k(t) = \xi_0 \left( \frac{V_0^3 \alpha t}{8\pi^3} \right)^{1/8}.$$

#### 4.4 Моделювання початкової стадії розтікання нафти

У розтіканні нафти поверхнею моря, зазвичай, виділяють три режими: інерційний, гравітаційно-в'язкий та режим поверхневого натягіння.

Будемо характеризувати об'єм вилитої нафти характерним радіусом  $R$  та товщиною  $h$ , так що характерний об'єм плівки  $V = R^2 \cdot h$  зберігався.

В інерційному режимі сила горизонтального градієнту тиску урівноважується силою інерції:

$$\frac{1}{\rho_n} \frac{\partial P}{\partial r_0} = u \frac{\partial u}{\partial r_0}, \quad (4.1)$$

де  $P$  – тиск, Па;

$\rho_n$  – щільність нафти, кг/м<sup>3</sup>;

$r_0$  – радіальна координата;

$u$  – радіальна компонента швидкості.

Якщо виразимо градієнт тиску через градієнт товщини плівки, то отримаємо:

$$g \frac{\rho - \rho_n}{\rho_n} \frac{\partial h}{\partial r_0} = u \frac{\partial u}{\partial r_0}, \quad (4.2)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\rho$  – щільність води, кг/м<sup>3</sup>;

$h$  – товщина нафтової плівки, м.

Додамо характерні значення та отримаємо:

$$g \frac{\rho - \rho_n}{\rho_n} \frac{V}{R_1^3} = \frac{\Delta R}{\Delta t} \frac{\Delta R}{\Delta t \cdot R_1}, \quad (4.3)$$

$$\Delta R = R_1 - R_0, \quad (4.4)$$

де  $R_0$  – початковий радіус круглої плями нафти, м;

$R_1$  – радіус нафтової плями в інерційній фазі, м;

$V$  – об'єм розлитої нафти, м<sup>3</sup>;

$t$  – час з моменту проливу нафти, с.

$$(R_1 - \Delta R)^2 = g \frac{\rho - \rho_n}{\rho_n} V \Delta t^2, \quad (4.5)$$

У підсумку отримуємо залежність радіусу плівки нафти від часу для інерційної фази розтікання:

$$R_1^2 - R_0 \cdot R_1 = k_1 \cdot \Delta t \sqrt{g \cdot \frac{\rho - \rho_n}{\rho_n} \cdot V}, \quad (4.6)$$

де  $k_1$  – константа порядку одиниці.

Перехід від інерційного до гравітаційно-в'язкого режиму відбувається тоді, коли товща плівки  $h$  стає достатньо тонкою, а товща в'язкого граничного шару  $\delta$  достатньо велика, так що виконується рівність:

$$\delta = \sqrt{\nu \cdot t}, \quad (4.7)$$

де  $k_1$  – кінетичний коефіцієнт молекулярної в'язкості води.

У гравітаційно-в'язкому режимі розтікання нафтової плями необхідно враховувати силу в'язкого тертя в плівці:

$$\frac{1}{\rho_n} \cdot \frac{\partial P}{\partial r_0} = \rho \nu \frac{\partial u}{\partial z} \frac{1}{\rho_n \cdot h}, \quad (4.8)$$

де  $z$  – вертикальна координата, має

$$g \frac{\rho - \rho_n}{\rho_n} \cdot \frac{V \cdot h}{R_2^3} = \nu \cdot \frac{\Delta R}{\Delta t \sqrt{\nu \cdot \Delta t}}, \quad (4.9)$$

$$g \frac{\rho - \rho_n}{\rho_n} \cdot \frac{V^2}{R_2^5} = \nu \cdot \frac{\Delta R}{\Delta t^{3/2} \cdot \nu^{1/2}}, \quad (4.10)$$

$$R_2^5 \cdot \Delta R = \frac{\rho - \rho_n}{\rho_n} \cdot V^2 \cdot \Delta t^{3/2} \cdot \nu^{-1/2}, \quad (4.11)$$

У результаті отримуємо залежність радіусу нафтової плівки від часу у гравітаційно-в'язкому режимі розтікання, яка вирішується інтеграційним методом:

$$R_2^6 \cdot R_2^5 R_1 = k_2 \left[ g \cdot \frac{\rho - \rho_n}{\rho_n} \cdot V^2 \cdot \Delta t^{3/2} \cdot \nu^{-1/2} \right], \quad (4.12)$$

де  $k_2$  – константа порядку одиниці.

Сила поверхневого натягнення становиться суттєвою, коли вона за порядком величини дорівнює градієнту тиску. Така умова настає, коли товща шару нафти  $h$



у процесі розтікання плями досягає величини:

$$h_{kr} = \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho - \rho_H)}}, \quad (4.13)$$

де  $\sigma$  – сумарне поверхневе натяжіння, що дорівнює  $\sigma = \sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3$ ,

$\sigma_1$  – на межі поділу вода-повітря;

$\sigma_2$  – на межі поділу вода-повітря;

$\sigma_3$  – на межі поділу вода-повітря;

У третьому режимі, сила поверхневого натяжіння дорівнює силі в'язкого тертя:

$$\rho \cdot v \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \cdot \frac{1}{\rho_H \cdot h} = \frac{\sigma \cdot R}{\rho_H \cdot V}, \quad (4.14)$$

$$\rho \cdot v^{1/2} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta t^{3/2}} \cdot \frac{R_3^2}{V} = \frac{\sigma \cdot R_3}{V}, \quad (4.15)$$

$$R_3 \cdot \Delta R = k_3 \left[ \sigma \cdot \rho^{-1} \cdot v^{-1/2} \cdot \Delta t^{3/2} \right], \quad (4.16)$$

де  $k$  – константа порядку одиниці.

Отже, отримуємо радіус залежності плівки від часу в режимі поверхневого натяжіння:

$$R_3^2 - R_2 \cdot R_3 = k_3 \left[ \sigma \cdot \rho^{-1} \cdot v^{-1/2} \cdot \Delta t^{3/2} \right]. \quad (4.17)$$

На певному етапі поверхневий натяг змінює знак, розтікання припиняється. Як показують спостереження, це відбувається, коли товща плівки нафти зменшується до  $(2-3) \cdot 10^{-3}$  см.

Об'єм нафтової плівки, що видаляється, визначається:

$$S_{пл} = \frac{V}{0,003}, \quad (4.18)$$

де  $S_{пл}$  – площа забруднення водної поверхні,  $m^2$ ,

$V$  – об'єм нафти, що потрапила на водну поверхню,  $m^3$ .

Таким чином, визначивши площу розливу нафти на водну поверхню при відсутності течії і вітру, приймається рішення щодо використання методу очищення. Для обмеження розливу до  $5000 m^2$  доцільно використовувати бонове загородження з подальшим біохімічним очищенням довжиною  $3340 m$  при висоті  $0,5 m$ . Необхідно враховувати, що при розливі нафти в акваторії більше  $4-5$  годин, навколишньому середовищу може бути завдано значної шкоди.

#### **4.5 Обґрунтування біохімічної трансформації складних вуглеводневих сполук за допомогою гібридного біопрепарату нового покоління**

Біопрепарати для біодеструкції нафтових забруднень пропонуються з зовнішнім покриттям із біодеградуєчої полімерної плівки, біомасою мікроорганізмів ліофілізованої форми і мінеральної підкладки на основі фосфогіпсу. Структурні особливості такого гібридного біопрепарату в гранульованій формі проявляють властивості контрольованого вивільнення мікроелементів і зменшують період адаптації консорціуму мікроорганізмів-деструкторів при попаданні в нафтовий розлив. Надалі після утилізації складних вуглецевих з'єднань відбувається накопичення біомаси мікроорганізмів-деструкторів, яка може стати гарним джерелом поживних речовин для морської аквакультури.

Хоча очікується, що стратегія повторного використання поживних речовин стане інструментом для боротьби з особливо дифузними джерелами, важливо також шукати можливості в існуючих точкових джерелах, особливо в тих випадках, коли результати можуть бути досягнуті швидко і економічно

ефективно. Фосфогіпс містить корисні елементи (Ca, S, P, Mg, K, Na, мікроелементи), а біополімерна плівка містить органічні сполуки вуглецю для зростання необхідних еколого-трофічних груп мікроорганізмів-деструкторів нафти. Загальна схема гібридного біопрепарату представлена на рисунку 4.1.

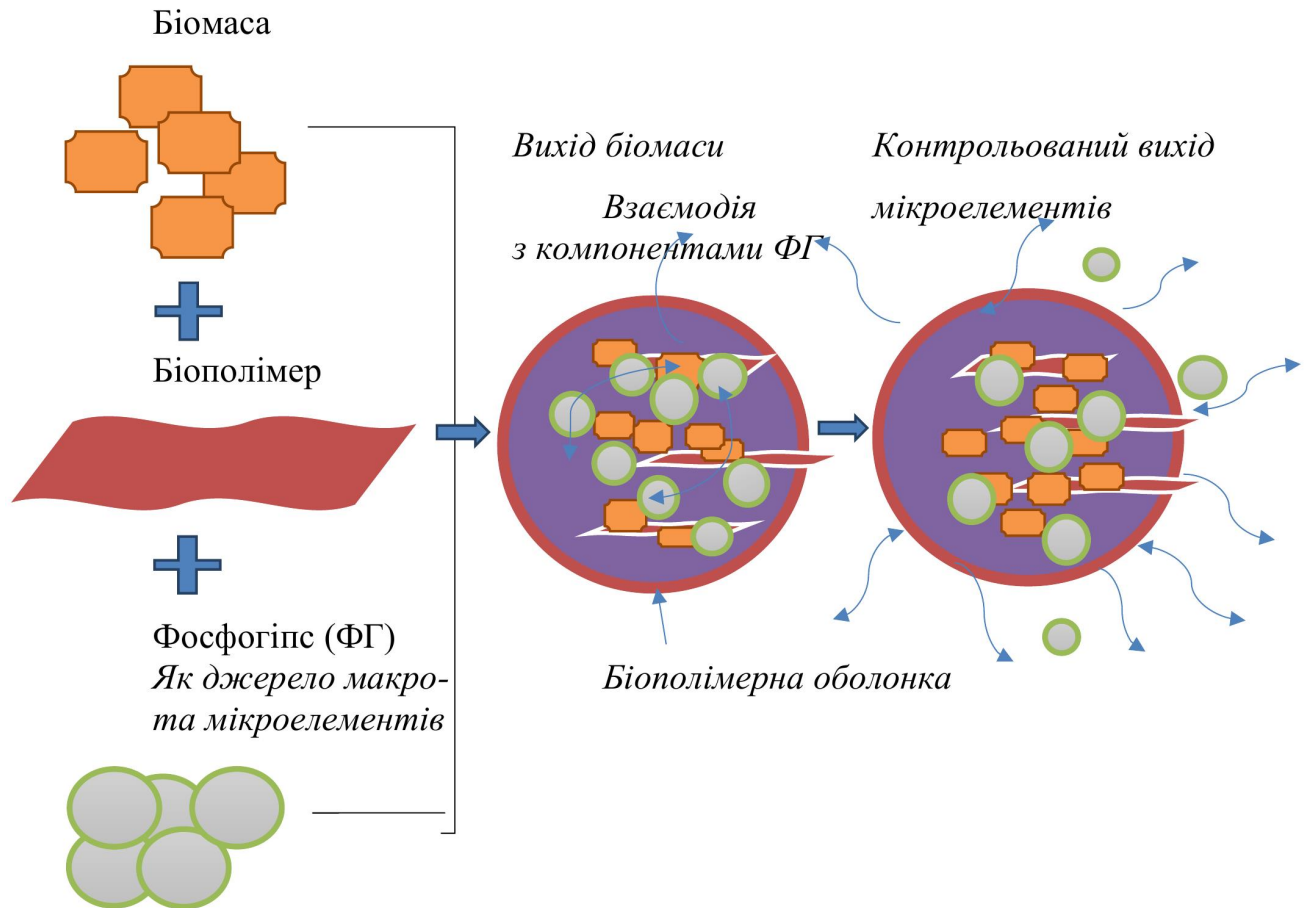
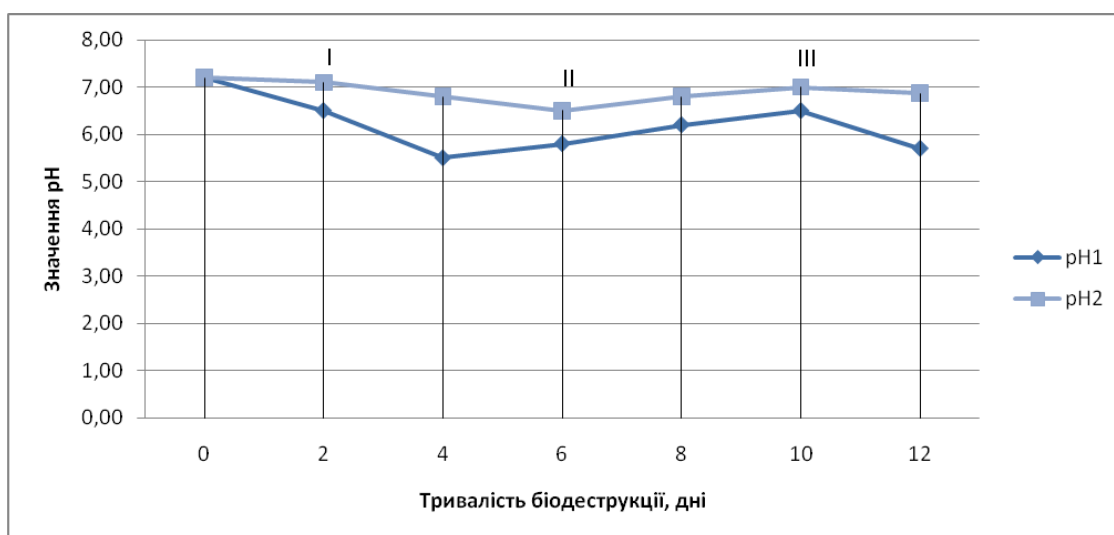


Рисунок 4.1 – Загальна схема гібридного біопрепарату

При виході біомаса взаємодіє з нафтою, відбувається конверсія складних вуглеводнів до простих сполук. При цьому важлива наявність макро- і мікроелементів корисних для метаболічної активності мікроорганізмів-деструкторів вуглеводнів та їх пролонгуюча дія, що сприяє повній конверсії нафтового забруднення до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ . Відбувається контрольований поступовий вихід компонентів фосфогіпсу, що сприяє формуванню стійкої біоплівки на поверхні нафтового забруднення та інтенсифікації процесів біодеструкції.

*Обговорення результатів.* Зміна рН і газоутворення. Відзначимо, що газоутворення анаеробними культурами як зміна рН, є важливим показником для аналізу глибини деградації циклічних з'єднань анаеробними асоціаціями мікроорганізмів. Стале перетворення і використання органічних кислот є суттєвими, адже у міру накопичення цих кислот або зменшення рН може призвести до гальмування процесів як метаногенезу, так і сульфідогенезу.

Дослідження проводили у двох варіантах (для метаногенної та сульфідогенної спільнот мікроорганізмів), результати яких наведені на рисунках 4.2–4.5.



рН1 – для метаногенів спільноти (варіант 1);

рН2 – для сульфідогенної спільноти (варіант 2)

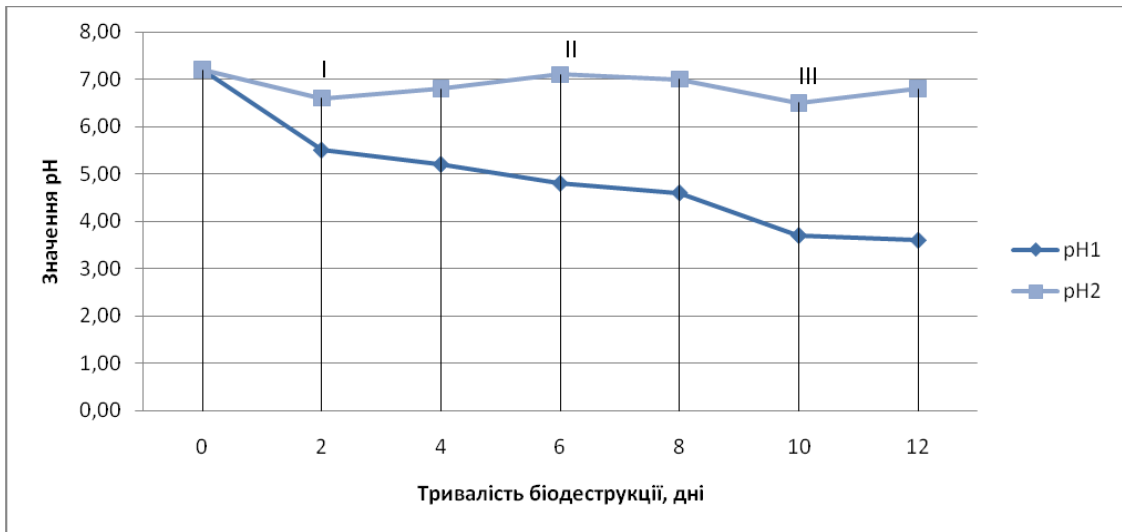
Рисунок 4.2 – Динаміка зміни рН мікробіологічних систем при додаванні в середовище нафтової плівки в концентрації 600 мг/л

Варіант 1. Мікробна асоціація стабільно працювала при концентрації нафтового забруднення 600 мг/л. При збільшенні концентрації  $C_6H_5OH$  спостерігалось закиснення культури з подальшим припиненням газоутворення, про що свідчила відсутність процесу барботування води в посудині (2). Зростання ацетилкластичних мікроорганізмів супроводжувалося різким закисненням культури на 2,5 од. в перші 2–4 доби (зона I), ймовірно обумовленим гідролізом

субстрату і виділенням ацетату, в подальшому на 6–8 добу крива рН стабілізувалася (зона II) і на 8–12 добу сталося незначне падіння значень рН на 0,8 од. (Зона III). Інгібуючий вплив  $C_6H_5OH$  настав при внесенні його в концентрації 1000 мг/л: зона I збільшилася, що свідчило про життєдіяльність первинних анаеробів, але подальша трансформація високомолекулярних сполук органічних кислот, що утворюються в процесі часткового розкладання вуглеводневих сполук, інгібувала, про що свідчить значне падіння рН на 4,0 од. на 10 добу. При внесенні нафтового забруднення в концентрації 1300 мг токсичний ефект був настільки сильним для сформованої в біореакторі анаеробної спільноти, що при візуальному спостереженні протягом усього експерименту був відсутній процес барботування води в посудині (2), що свідчило про мале газоутворення і інгібування нафтового забруднення ферментною активністю мікроорганізмів. Подальше збільшення дози нафтового забруднення не проводилося. Відзначимо, що запаху сірководню в системі не було в жодній серії дослідів Варіанта 1.

Варіант 2. Зазначалося первинне зниження рН (зона I) на 2–4 добу, з подальшою його стабілізацією на 8 добу (зона II), в більшості випадків реакція середовища відхилялася в межах 0,5 од. в сторону залуження, внаслідок чого на 8–12 добу (зона III) рН склав 6,7–6,8. Активне газовиділення спостерігалось при 600 і 1000 мг/л, при концентрації нафтового забруднення 1300 мг/л газовиділення було періодичним, процес барботування води в посудині (2) виникав при механічному перемішуванні субстрату в біореакторі. У серії дослідів Варіанта 2 при відкритті судини (2) відчувався запах сірководню. Відзначимо, що дослідження кількісного і якісного складу газової фази не проводилося. Таким чином, деградація ароматичної сполуки не супроводжувалася значною зміною рН середовища. Це свідчить про стабільну роботу сульфідогенної спільноти, ефективному видаленні  $H_2$  з мікробної системи СВБ з утворенням сірководню, що веде до підвищення значень рН, а також підтверджує можливість зростання на складному для біодеградації органічному субстраті. При внесенні концентрації нафтового забруднення 1400 мг/л візуально газоутворення не відзначалося, рН

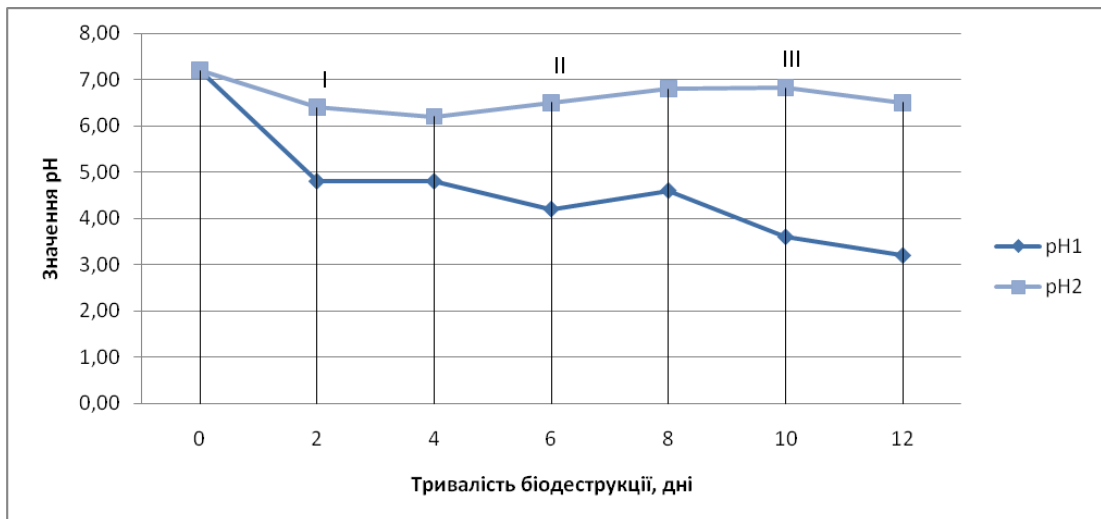
середовища в перші 4 доби знизився на 3 од. і в подальшому не підвищувався, на 12 добу склав 3,7.



pH1 – для метаногенів спільноти (варіант 1);

pH2 – для сульфідогенної спільноти (варіант 2)

Рисунок 4.3 – Динаміка зміни рН мікробіологічних систем при додаванні в середовище нафтової плівки в концентрації 1000 мг/л



pH1 – для метаногенів спільноти (варіант 1);

pH2 – для сульфідогенної спільноти (варіант 2)

Рисунок 4.4 – Динаміка зміни рН мікробіологічних систем при додаванні в середовище нафтової плівки в концентрації 1300 мг/л

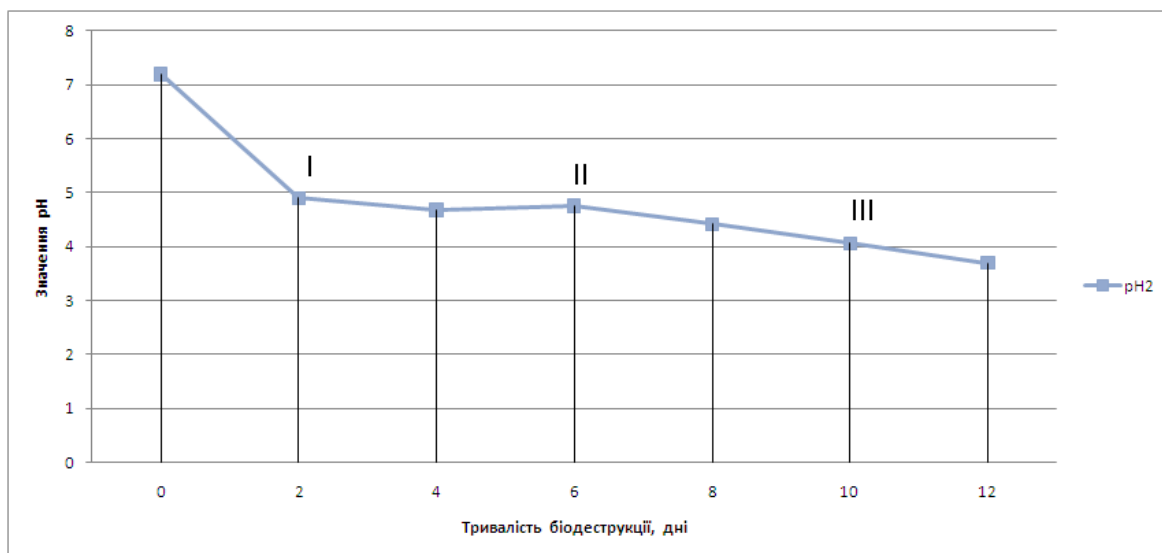


Рисунок 4.5 – Динаміка зміни рН мікробіологічних систем при додаванні в середовище нафтової плівки в концентрації 1400 мг/л: рН2 – для сульфідогенної спільноти (варіант 2)

Спосіб отримання гранульованого гібридного біопрепарату, що містить іммобілізовані мікроорганізми-деструктори складних вуглеводнів нафти, який включає іммобілізацію мікроорганізмів у вигляді суспензії у 6–8 % розчині альгінату натрію масовою часткою 4–7, до якого додають фосфогіпс на рівні 10–11 масових часток та біополімер на основі рослинних відходів масовою часткою 7–10. Гранулювання здійснюють в обертовому тарільчастому грануляторі зі змішуванням іммобілізованих мікроорганізмів з мінеральною добавкою фосфогіпсу та біополімером, при швидкості обертання тарілки 75–80 об/хв. і часі гранулювання 15–30 хвилин, та отримують гранули, які додатково покривають біополімерною плівкою. Гранули отримують діаметром 5–6,95 мм.

При цьому концентрація суспензії мікроорганізмів необхідної еколого-трофічної групи забезпечується не менше 10 12 КУО/г гранул.

## **Висновки до розділу 4**

1. Проведено моделювання розтікання нафтової плівки із застосуванням гідродинамічних моделей, що дозволили розрахувати розтікання нафти та нафтопродуктів на поверхні водного дзеркала. Встановлено, що результати моделювання ефективно використовувати для прогнозування масштабів аварійних розливів нафти в море.

2. Запропонований механізм розрахунку плівкового нафтового забруднення і його обсягу в поєднанні із застосуванням розробленого препарату дозволить забезпечити високий ступінь очищення нафтових забруднень.

3. Розроблено та одержано вискоєфективний гранульований гібридний біопрепарат, який володіє високим ступенем біодеградації нафтових вуглеводнів за рахунок іммобілізованої асоціації мікроорганізмів на носії.

4. Обґрунтована біохімічна трансформація складних вуглеводневих сполук за допомогою гібридного біопрепарату нового покоління.



## РОЗДІЛ 5 СТАЛИЙ РОЗВИТОК КАСПІЙСЬКОГО РЕГІОНУ

### 5.1 Фактори, що впливають на сталий розвиток Каспійського регіону

На сьогодні, екологічно нестабільною є ситуація в Каспійському регіоні, відтак, цей регіон вже сьогодні можна зарахувати до числа районів екологічного лиха. Таку непросту ситуацію ускладнює реалізація великих господарчо-промислових проектів, які зокрема пов'язані з розробкою та експлуатацією природно-сировинних ресурсів. Ця діяльність іще більше загострює складну екологічну ситуацію у регіоні [96].

Відтак, вкрай виникає необхідність виявити причини впливу на сталий розвиток Каспійського регіону, зокрема і наслідки, до яких вони призводять.

Причини, що впливають на сталий розвиток Каспійського регіону, можна класифікувати: за джерелом і характером на геополітичні, правові, нафтові, транспортні, біологічні та природні; за ступенем впливу – глобальні та локальні. Сьогодні геополітику, відсутність міжнародної правової бази, яка регулювала б використання ресурсів Каспійського моря, заселення нових видів і гідрогеологію можна охарактеризувати як глобальні чинники, що впливають на сталий розвиток Каспійського регіону, а отже, впливають на весь район в цілому [97].

До геополітичних проблем Каспійського регіону, перш за все, відносяться утвердження міжнародно-правового статусу, географія поставок вуглеводневих ресурсів, маршрути їх транспортування, а також протяжність транспортних коридорів. Вуглеводневий фактор (нафтовидобуток), трубопроводи, транспорт (як забруднювачі), неконтрольоване рибальство є тими факторами, що сьогодні мають локальний характер (рисунки 5.1).



Рисунок 5.1 – Фактори, що впливають на сталий розвиток Каспійського регіону

Правовий статус Каспійського моря є головною геополітичною проблемою, яка безпосередньо впливає на сталий розвиток у регіоні. Йдеться про важливу і складну водночас у геополітичному й економічному відношенні суперечку навколо територіальних прав на дно, водну товщу і поверхню Каспійського моря, яке після розпаду Союзу стало суміжним із п'ятьма державами – Азербайджанською Республікою, Ісламською Республікою Іран, Республікою Туркменістан, Республікою Казахстан, Російською Федерацією. Протягом останніх років це зумовлює цілу низку як конфліктів, так і тісної співпраці. Сьогодні на міжнародному рівні вирішується не лише питання про розподіл Каспійського моря між цими державами, а й правова проблема: це море чи внутрішньоконтинентальна водойма [98].

Чинний правовий режим Каспійського моря не відображає всієї складності політичних, економічних і екологічних проблем регіону. Варто наголосити, що ключовою проблемою у цьому конфлікті є бажання кожної сторони контролювати

величезні запаси нафти на дні Каспійського моря. Можливо, за вирішення означеної проблеми буде врегульовано й встановлено правовий режим Каспійського моря. Оскільки на сьогодні не існує єдиного політичного вирішення питання правового статусу Каспію, то екологічна безпека цього регіону допоки залишається на низькому рівні [99].

Тривалі дискусії щодо питання «Каспій – море чи озеро» змусили виробити і запропонувати поняття Каспійського моря як унікальної закритої внутрішньоконтинентальної водойми, що повинна мати особливий правовий статус, на який не поширюються норми і поняття міжнародного морського права, зокрема конвенції ООН з морського права 1982 року.

На думку Росії, для того, щоб розроблюваний правовий статус був всеосяжним і ефективним, він повинен поєднувати положення, що відображають нові геополітичні, соціально-економічні, екологічні та інші реалії з нормами і принципами радянсько-іранських договорів 1921 і 1940 рр., адекватність яких була доведена десятиліттями їх застосування на Каспії. Остаточне визначення правового статусу Каспійського моря дасть вирішення питання про поділ ресурсів водойми і охорони навколишнього середовища, а також закріплення цієї проблеми в основній п'ятисторонній угоді щодо правового режиму Каспійського моря [100].

Сьогодні серед основних складових каспійської політики прикаспійських країн можна виокремити: забезпечення в регіоні миру і стабільності; зміцнення добросусідських відносин із кожною прибережною державою, розвиток співпраці в рамках «Каспійської п'ятірки», налагодження конструктивної взаємодії з нерегіональними партнерами; підтримка працюючих на Каспії національних компаній, забезпечення транспортування каспійських вуглеводнів на зовнішні ринки через трубопроводи, формування міжнародного транспортного коридору «Північ-Південь», що проходить через Каспійський регіон; врегулювання міжнародно-правового статусу Каспію та формуванням міжнародно-правової бази задля забезпечення діяльності в галузі охорони природи, надрокористування, збереження біологічних ресурсів та управління ними.

На сьогодні геополітична ситуація, що виникла в Каспійському регіоні, є прямою загрозою сталому розвитку, оскільки може призвести до конфліктів, зокрема і збройних. За такої ситуації якщо й не завдається прямої шкоди навколишньому середовищу, то відтермінується вирішення екологічних проблем на певний час, протягом якого негативні зміни екосистеми можуть стати незворотними (рисунок 5.2).



Рисунок 5.2 – Вплив геополітики на сталий розвиток Каспійського регіону

Таким чином, за умов відсутності єдиних домовленостей щодо правового режиму Каспійського моря національне законодавство прикаспійських держав не може розвиватися повноцінно. Відповідно до тенденції щодо визнання акваторії територією загального користування, розвиток національного законодавства, зокрема й із екологічної безпеки, буде залежати, найперше, від міжнародного права (рисунок 5.3).



Рисунок 5.3 – Екологічна безпека та сталий розвиток Каспійського регіону

Варто відзначити, що впродовж останнього десятиліття країни Каспійського регіону прийняли важливі рішення щодо реформування екологічної політики, законодавства та інститутів.

Тому у рамках реформи регулювання більшістю країн регіону були розроблені або оновлені чинні екологічні закони, закони про компоненти навколишнього середовища та інші відповідні акти, які лягли в основу загальних принципів діяльності з охорони навколишнього середовища.

Однак варто відмітити, що законодавчий процес відбувався не систематично і спричинив низку юридичних неточностей і суперечностей між новими законами, постановами та інструкціями. Чинними сьогодні також є достатньо регулюючих документів, що були введені в дію ще за часів Союзу. Звідси залишається незрозумілим, який із чинних нормативних документів слід застосовувати [101].

Отже, розділи екологічного законодавства, як і раніше, потребують перегляду і приведення у відповідність із національним законодавством в інших сферах. Країни Каспійського регіону мають і користуються досить широким

набором інструментів екологічної політики, однак практично всі ці інструменти є неефективними, що унеможлиблює поліпшення стану навколишнього середовища.

Через велике техногенне навантаження і недостатнє дотримання екологічних та технологічних вимог, нормативів, стандартів екології регіону та здоров'ю його мешканців завдається значної шкоди. Також ускладнюється негативний вплив антропогенної діяльності на стан довкілля через відсутність єдиного регіонального правового механізму щодо раціонального використання природних ресурсів і охорони навколишнього середовища розробленого безпосередньо для Каспійського регіону.

Сьогодні Каспійське море перебуває на початковому етапі екологічної катастрофи, про що свідчить масова загибель тюленів, захворювання риб, птахів, бентосних організмів тощо. Наприклад, загибель водоплавних птахів відзначалася в районі заповідного острова Гель (недалеко від селища Алят) у 1998 році, коли загинуло близько 30 тис. птахів [102]. Відсутність необхідних угод із екологічної безпеки, використання мінеральних ресурсів, збереження біорізноманіття, підписаних усіма п'ятьма прибережними країнами, а також регіонального механізму щодо вирішення означених проблем ускладнює екологічну ситуацію в цілому. Оскільки в кожній країні ведеться розробка вуглеводневих ресурсів Каспійського моря і в регіоні активно діють різні іноземні нафтові компанії, потреба вирішення цих регіональних питань є досить актуальною і має бути вирішеною невідкладно.

Іншим локальним фактором, що впливає на сталий розвиток регіону і безпосередньо пов'язаний із відсутністю регіональної нормативно-правової бази та механізму захисту від несанкціонованого вилову риби є браконьєрство.

Рибний промисел в прикаспійських державах здійснюється без дотримання взаємоузгоджених квот і наукових рекомендацій щодо вилову, відтак, почався широкомасштабний нерегульований вилов, або браконьєрство, яке в 11–13 разів перевищує обсяги легального і науково обґрунтованого улову [103]. Особливо великі його масштаби в морі.

Міжнародна організація «TRAFFIC Europe» зазначає, що щорічно тільки до Москви доставляється 37 тис. т браконьєрської осетрини, що становить близько 4 квот допустимого вилову у Волго-Каспійському регіоні. За даними Російської Федеральної прикордонної служби, вартість контрабандної ікри осетрових щорічно складає 125 млн дол., а економічні втрати від скорочення обсягів промислу становлять понад 1500 млн дол. [104]. Тому проблема раціонального використання осетрових перетворилася в проблему збереження і відтворення запасів осетрових, в тому числі їх видового складу.

Таким чином, вплив на сталий розвиток вуглеводневого фактору базується на геополітичній нестабільності і відсутності правового механізму раціонального використання і захисту навколишнього середовища від забруднення вуглеводнями.

Найпоширенішим і найнебезпечнішим для Каспію є нафтохімічне забруднення, що набуло чітких проявів іще в кінці XIX століття, а до середини XX століття видобутку і переробці нафти в Азербайджані і транспортуванні її Каспієм і Волгою належить провідна роль. Так, у регіоні щорічно збільшується видобуток нафтопродуктів. Однак незважаючи на величезні екологічні резерви природи, еволюцію в нових умовах, антропогенний вплив вже спричинив наскільки негативні наслідки, що з ними біосфера самотійно впоратися не в змозі.

Нафтогазовий розвиток Каспію негативно позначається і на стані рибальства та рибному промислі в цілому, оскільки буріння почалося в Північному Каспію в місцях нересту і нагулу осетрових і на шляхах їх міграції [105]. За розрахунками Брендона [106], прикаспійські країни тільки через втрату осетрового промислу недоотримуватимуть близько 6 млрд дол. щорічно.

Забрудненість нафтопродуктами негативно впливає на організм людини, тваринний світ, водну рослинність, фізичний, хімічний і біологічний стан водойми, ґрунтів, повітря. Так, при потраплянні в організм великих доз сирої нафти (від 13 до 20 мкг/кг) гинуть тварини, смерть настає через 18–48 годин, погіршення стану супроводжується збільшенням органів, зокрема серця, легенів,

печінки [107]. У місцях розвитку сухопутного та морського нафтовидобутку сформувалися найбільші нафтохімічні виробництва зі своєю інфраструктурою, що виходить далеко за межі Каспійського регіону, а також портово-промислові комплекси, зокрема Бакинського-Сумгаїтський, Астраханський, Тенгіз-Актауський, Туркменбашинський, Махачкалінський, Ензелійський. Саме ці комплекси, скидаючи забруднення у море, багато в чому визначили сильний ступінь його забруднення.

Таким чином, усі джерела надходження шкідливих речовин в навколишнє середовище на нафтопромислах поділяються на три групи факторів: недоліки існуючих технологій, відсутність у них рішень щодо збору й утилізації шкідливих відходів; незабезпеченість нафтовидобувних підприємств матеріально-технічними засобами (трубами, насосами з антикорозійним покриттям тощо); низька екологічна культура виробництва [108].

Якщо продовжувати подальше розширення експлуатації нафтогазових багатств регіону, то значної шкоди Каспію, на додаток до газовидобувних платформ, завдадуть і нафтогазові трубопроводи, до того ж не лише ті, що прокладені на дні озера, а й ті, що проходять узбережжям.

Сьогодні існує безліч проектів прокладання маршрутів транспортування нафти і газу. Варто відмітити, що через економію труби укладаються найкоротшим шляхом, а не враховуючи екологічну безпечність означених маршрутів. Також не враховується, що Каспій розташований в сейсмонебезпечній зоні, а також що його дно схильне до вулканізму.

Укладання на декілька сотень кілометрів підводних трубопроводів значно підвищує ризики забруднення Каспію, навіть якщо ці трубопроводи і будуть прокладені з дотриманням і використанням найсучасніших технологій, це не може убезпечити їх від аварій і стихійних лих. За останнє десятиліття через інтенсивний видобуток вуглеводневої сировини виникла реальна загроза сильних землетрусів техногенного характеру в нафтопромислових районах Каспійського регіону. Відтак фіксуються землетруси з магнітудою 4 (до 5-6 балів) на території Атирауської і Західно-Казахстанської областей [109].



Південний і значна частина Середнього Каспію також піддаються значній геодинамічній небезпеці, що пов'язана із сейсмічною активністю. На цих ділянках розроблені проекти транскаспійських підводних нафтопроводів: збільшується навантаження за рахунок транспортування до 20 млн. т за рік казахстанської нафти з Тенгізького родовища, а також каспійської нафти за маршрутами: Тенгіз–Узун–Аджікуіл–підводний трубопровід–Баку, далі до Джейхану; або Тенгіз–Кіанлі–підводний трубопровід–Баку, далі до Джейхану і транскаспійського газопроводу Туркменістан–Азербайджан–Грузія–Туреччина.

Згідно з висновками сейсмологів, прокладання нафтопроводів на дні Каспію може зумовити, по-перше, аварії й великі розливи нафти як наслідки від підводних землетрусів, що в результаті створює усі передумови для негативних екологічних, соціально-економічних проблем [110].

Також слід наголосити, що дно Каспію схильне до утворення грязьових вулканів, найнебезпечніші серед яких за своїми екологічними наслідками сірководневі родовища нафти і газу, наприклад, подібні до Тенгізького. Таким чином, наслідком сильного землетрусу можуть бути викиди на поверхню і в атмосферу під тиском близько 1000 атм. мільйонів тонн вуглеводнів з сірководнем, що може привести до глобальної катастрофи [111].

Таку ситуацію локального впливу сірководню на навколишнє середовище спостерігали на прикладі Астраханського газоконденсатного комбінату [112]. Окрім значних екологічних проблем її складність іще обумовлювалася й відсутністю міжурядових угод щодо надання допомоги при ліквідації складних нафтових розливів у морі і ліквідації серйозних аварій при бурінні, видобутку нафти. Таким чином, трубопроводи, нафтові маршрути як локальний фактор є похідними від правового чинника.

За останні роки морські води Каспію прийняли тисячі одиниць маломірного флоту – невеликі катери, човни з підвісними моторами, який став серйозним забруднювачем водойми нафтопродуктами. Також досить великим джерелом забруднень є стічні води судів великих каспійських портів: Махачкала, Туркменбаши, Баку, Актау та ін. Плановане розширення зазначених портів,

будівництво нових і збільшення чисельності великотоннажних суден, танкерів і барж для транспортування сирової нафти та нафтопродуктів є потенційними джерелами забруднень і створюють значний ризик аварійності. До цього слід віднести і створювані в кожному з прикаспійських держав військово-морські сили і бази.

Таким чином, екологічну проблему ускладнює відсутність угод прикаспійських держав із безпеки мореплавання. Також, як і дно, акваторія Каспійського моря залишається спірною територією, її правовий режим визначається частково міжнародними домовленостями і угодами, а частково національним законодавством. Тому й рівень захищеності від негативного впливу судноплавства морських екосистем Каспію дуже низький. Проте, відмітимо, значно збільшуються обсяги морських перевезень акваторією Каспію, зокрема значну частину вантажів становлять нафта і нафтопродукти.

Отже, на ситуацію щодо захисту навколишнього середовища від негативного впливу транспортних вантажних перевезень безпосередньо впливає невирішеність регіональних правових проблем.

Іншим глобальним фактором, що впливає на сталий розвиток, є економічний стан прикаспійських держав. Найважливішими факторами, що впливають на сучасний напрямок розвитку економік країн каспійського регіону, є наявність або відсутність запасів вуглеводневої сировини, ступінь розвиненості промисловості, спрямованість і динаміка ринкових реформ. Перехід до нової моделі господарювання в держав з регіону відбувається досить складно. Трансформація їх економік пов'язана із глибоким спадом виробництва, розладом фінансової сфери, зростанням безробіття і соціальної напруги.

Сьогодні держави регіону більше виступають як конкуренти, ніж як країни, об'єднані спільними цілями [113]. Крім того, на вектори розвитку країн регіону активно впливають західні компанії, яким вдалося зайняти міцні позиції на ринках, особливо в сировинному секторі Азербайджану, Казахстану і Туркменістану. Окрім цього, намітилися серйозні протиріччя між прикаспійськими країнами з питань транспортування енергоресурсів на зовнішні

ринки. У підході розвинених країн Заходу до держав регіону простежується прагнення максимально використовувати у власних інтересах паливно-сировинний потенціал.

Так, є пряма небезпека перетворення країн регіону на сировинний придаток світового ринку, уникнення їх як конкурентів на цьому ринку, використання як джерела дешевої робочої сили для іноземного капіталу.

Такі прикаспійські держави, як Азербайджан, Туркменістан і Казахстан, після отримання незалежності зробили ставку в своєму економічному розвитку на розробку вуглеводневих ресурсів і залучення іноземних інвестицій. Соціально-економічне становище, політична стабільність в цих країнах залежать від освоєння таких ресурсів.

Від 1999 року урядами Росії і Казахстану затверджено статус Північного Каспію як заповідної зони і створено правові умови для нафтових компаній із різних країн для геологічного вивчення, розвідки і видобутку вуглеводневої сировини, а мілководдя Північного Каспію є районом для виробництва його біоресурсів, зокрема, місцем нагулу мальків осетрових.

Проте сьогодні великі нафтові компанії різних країн проводять у заповідних районах Північного Каспію інтенсивні розвідувальні роботи, а буріння нафтових свердловин проводиться у найбільш придатних, щодо рибопродуктивності, місцях масового нагулу осетрових та інших цінних видів риб.

Таким чином, значно зросли ризики негативного впливу на унікальне біологічне різноманіття Каспійського моря через відсутність відповідного правового механізму, що регулює видобуток вуглеводнів, а розрізнені дії прикаспійських держав і нафтових компаній можуть привести до перетворення Каспійського моря в мертво озеро.

У цьому контексті чітко простежується взаємозв'язок трьох глобальних чинників – геополітичного, правового і економічного, оскільки при економічному зростанні посиляться також і геополітичне значення країни, а значить і можливість впливу на міжнародно-правову ситуацію в регіоні. Отже, поки не будуть вирішені питання геополітичного, економічного і правового характеру в

регіоні, проблеми сталого розвитку будуть відсунуті на другий план або ж використані в якості важеля для вирішення політичних та економічних проблем.

Будь-яке вселення нових видів завжди супроводжується помітними змінами в структурно-функціональну організацію екосистеми моря, проте зазвичай обходиться без значних катастрофічних наслідків. Проблема вселення нових видів в Каспійське море має тисячолітню історію. Вважається, що антропогенне переселення організмів із Чорного моря в Каспійське почалося ще 8 тисяч років тому, коли перші човни пішли Кумо-Маницькою протокою. Також у період громадянської війни, в 1920 році, з військовими кораблями у Каспій проник молюск родини мідієвих *Mytilaster lineatus* і діатомова водорість *Rhizosolenia calcar-avis*. У 1939-1941 роках було штучно вселено поліхети виду *Nereis diversicolor*. Після відкриття Волго-Донського судноплавного каналу біота Каспію збагатилася ще більш ніж 10 видами. Однак сьогодні дослідники відзначають, що наслідки від інвазії мнеміопсису в Каспійське море далі будуть більш відчутними і значними, а вже протягом найближчих років пелагічна трофічна система Каспію буде зруйнована, відтак, можливість збереження його рибпромислового значення бачиться досить проблематично [114].

Сьогодні існує ще одна небезпека, на яку, на разі, звертають мало уваги, – масове вимирання гребневика. Це призведе до накопичення у водному середовищі та донних відкладеннях величезної кількості органічної речовини, яка в сукупності з розкладанням нафтових вуглеводнів сприятиме погіршенню кисневого режиму всього Каспію, що, перш за все, призведе до зміни продукційно-деструкційного балансу моря.

Зважаючи на це, наявність видів-вселенців у біосистемі Каспію можемо вважати глобальними чинниками, що впливають на сталий розвиток регіону.

Не менш важливим є гідрогеологічний фактор, оскільки зміна гідрогеологічного режиму може привести до погіршення якості середовища існування живих організмів. Тому постійно мають проводитися належні заходи щодо усунення наслідків цього погіршення.

Цей фактор складається із двох складових: 1) антропогенний вплив – урегулювання стоку річок, що впадають в Каспійське море; 2) природні зміни, пов'язані з природними деформаціями русел річок [115] і коливаннями рівня моря, а також із можливою сейсмічною активністю його дна.

За кілька мільйонів років ізоляції Каспійського моря його біологічні комплекси пристосувалися до певного режиму річкового стоку. Особливо це стосується прохідних і напівпрохідних риб, що нерестяться в річкових водах. Зі ста тридцяти річок, що впадають в Каспійське море, не всі можуть бути природними нерестовищами. До кінця ХХ століття головними природними нерестилищами осетрових Каспійського моря були річки Волга, Урал, Кігач, Кура, Терек, незначна роль належала річкам Ірану. З будівництвом волзьких ГЕС у 1957 і в 1962 роках шлях запливу осетрових риб у цей район було перекрито. Відповідно, за результатами проведеного міжнародними екологічними організаціями екологічного моніторингу уловів осетрових на Каспії, було відзначено, що скорочення чисельності осетрових в Каспійському морі сьогодні оцінюється як критичне.

Також важливою перешкодою руху осетрових до нерестовищ є будівництво гребель гідроелектростанцій. Наслідком цього будівництва є зміна рівня води в річках, створення системи штучних «морів» зі специфічним гідрологічним режимом, осінні та зимові залпові викиди із водосховищ – усе це привело до зменшення площ природних нерестовищ, поганого виживання ікри та мальків. Так, за даними екологів, тільки на Волзі площа основних нерестовищ осетрових скоротилася на 80 % [106].

Як відзначають учені Каспійського науково-дослідного інституту рибного господарства, із 3390 га збереглися лише 430 га, білуга втратила доступ до своїх природних нерестовищ на 100 %, осетер – більш ніж на 80 %, севрюга – на 60 %, повністю позбулася природних нерестовищ білорибця. Зарегулювання стоку Терека і Кури призвело до майже повного припинення відтворення осетрових на цих річках. Водовилучення із річки Атрек різко знизило її стік в море, а потім він припинився майже повністю [107].

Хоча в останні роки рівень Каспію стабілізувався, однак подальше підвищення рівня моря в районах нафтовидобутку може привести до виникнення аварійних ситуацій, затоплення майданчиків свердловин на низинних узбережжях, порушення захисних дамб і обвалування споруд навколо бурових майданчиків, розриву всередині промислових трубопроводів, забруднення підземних вод, які потім почнуть забруднювати й море.

Також варто наголосити, що у зв'язку з інтенсивною розробкою вуглеводневої сировини виникла реальна загроза сильних землетрусів техногенного характеру в районах нафтопромислів Каспійського регіону. Беззаперечним є той факт, що відповідно з викачування великих об'ємів нафти геологічне середовище значно змінюється. Свідченням цьому є підтвердження просідання землі й поява землетрусів [108] після початку видобутку вуглеводнів у Північній Америці, Голландії, Росії, Франції, Узбекистані. Також характерні для регіону деформаційні переміщення покладів можуть привести до переміщення вуглеводнів техногенними тріщинами, існує ймовірність неконтрольованого виходу вуглеводнів на морське дно.

Таким чином, масштаби можливого екологічного лиха і економічних збитків важко навіть уявити, оскільки існує ймовірність безповоротної загибелі всіх мешканці моря.

Отже, гідрогеологія є глобальним чинником, що впливає на сталий розвиток Каспійського регіону. Відтак, аналіз представленої моделі факторів дозволив науково обґрунтувати напрями і шляхи пошуку причин можливих екологічних криз, а також оцінити можливість їх розвитку при плануванні господарської діяльності.

## **5.2 Особливості співпраці прикаспійських держав у сфері забезпечення сталого розвитку Каспійського регіону**

В умовах відсутності єдиних домовленостей щодо статусу Каспійського моря і протиріч в національних законодавствах прикаспійських держав регулювання

екологічної безпеки в цьому регіоні має деякі особливості. Більш ніж за три століття використання природних ресурсів Каспійського моря його режим регулювався двосторонніми міждержавними угодами між Росією і Персією. Так, за Гюлистанським мирним договором 1813 року і Турманчайським договором, який замінив перший 1828 року, Росії надавалося довічне виняткове право мати військово-морський флот на Каспійському морі. Цими ж актами визнавалося підпорядкування Каспію Російській юрисдикції [109].

Щодо формування правового режиму використання водних біоресурсів Каспійського моря, то одним із перших документів був Договір про мир і дружбу 1921 року між Росією й Персією, в якому відповідно до його статті 4 Персія зобов'язувалася підписати Угоду з Росією про надання їй права на експлуатацію рибних ресурсів біля південного узбережжя Каспійського моря. У 1927 році така Угода була укладена, і на підставі якої, відповідно, була заснована перша радянсько-іранська рибпромислова компанія «Шілат», яка проіснувала до 1953 року як спільне господарське підприємства [110].

У цій Угоди, а також у Договорі про торгівлю і мореплавання 1935 року, в Договорі про торгівлю і мореплавання 1940 року і наступних угодах та протоколах тільки Росія й Іран, як дві прикаспійських держави, користувалися рівними і винятковими правами на здійснення морської діяльності в Каспійському морі, зокрема і рибальство. Окрім цього, статтею 12 Договору про торгівлю і мореплавання 1940 року закріплювалося право СРСР й Ірану вільно займатися рибальством за межами 10-мильної прибережної зони рибальської юрисдикції, встановленої вздовж усього узбережжя Каспію.

Принцип винятковості використання рибних ресурсів тільки цими двома країнами закріплювався і положенням статті 13 щодо можливості перебування у Каспійському морі «тільки суден, що належать СРСР або Ірану, а відтак, громадянам і торговим, і транспортним організаціям однієї з Договірних сторін, які відповідно плавають під прапором СРСР або Ірану» [111].

Проголошення свободи рибальства за межами 10-мильної зони безумовно мало на меті узаконити промисел риби судами цих двох країн у всіх районах

Каспійського моря. Думка, що, зокрема в 1935 році, Каспій був розділений на радянський та іранський сектори лінією між Астара в Азербайджані і Гасан-Кулі в Туркменістані. Однак таке трактування не відповідає дійсності, так як лінія Астара – Гасан-Кулі справді була встановлена СРСР, проте в односторонньому порядку, як внутрішня адміністративна міра і ніколи не визнавалася Іраном як кордон за домовленістю [112]. На початку ця лінія застосовувалася в односторонньому порядку для повітряних суден Радянського Союзу [113], а з 1953 року вона також служила односторонньою лінією для радянських рибальських суден, що вели рибальський промисел у південних районах Каспійського моря.

Каспійське море ніколи не було розділене прибережними державами і знаходилося в їх спільному й винятковому володінні. У двосторонньому договорі між СРСР та Іраном Каспійське море називалося «радянським і іранським (перським) морем» [114].

Встановлений договорами двох прикаспійських держав і підтверджений практикою рибальства особливий правовий режим Каспійського моря щодо використання водних біоресурсів практично ніколи і ніким не оскаржувався і був визнаний міжнародним співтовариством держав. Окрім цього, такий підхід знайшов підтвердження і в доктрині міжнародного права, а особливий статус Каспійського моря як закритого визнається в класичному англійському курсі міжнародного права Ф. Хиггінса і Д. Колумбоса [115].

З розпадом Радянського Союзу в 1992 році деякими новими прикаспійськими державами були зроблені спроби істотно змінити правовий режим рибальства в Каспійському морі. Розпад СРСР не став підставою як для одностороннього перегляду режиму рибальства Каспійського моря, так і для одностороннього використання секторального поділу його простору щодо рибальства. Усі прикаспійські держави вийшли на міжнародну арену як правонаступники на відповідній частині території колишнього СРСР, і вони у відповідних актах зобов'язалися дотримуватися міжнародних договорів, укладені раніше Союзом, частиною якого вони самі були [116].



Правовий режим охорони навколишнього середовища Каспійського моря так само, як правовий режим інших видів морської діяльності, складається з норм, визначених у правовому статусі в п'яти – і двосторонніх угодах (Московська декларація РФ і Азербайджанської республіки, 2004), а також в національному законодавстві прибережних держав. Уже пройшло більше 15 років від моменту фактичної зміни правового статусу Каспію, але прикаспійськими державами так і не було укладено п'ятисторонньої регіональної угоди, незважаючи на те, що робота в цій сфері ведеться постійно. Ключова причина – постійні суперечки й розбіжності щодо правового режиму Каспію, а також пов'язані з ними підходи до вирішення питань використання та охорони його природних ресурсів.

Разом з тим, незважаючи на відсутність такої угоди, усі держави в різних сферах мають певні міжнародні зобов'язання щодо Каспію в рамках глобальних екологічних конвенцій (Угода між РФ і Азербайджанською республікою про розмежування суміжних ділянок дна Каспійського моря, 2002 р.). Найбільш сприятливою є сфера охорони тваринного і рослинного світу. Конвенції про біорізноманіття, СІТЕС, учасниками яких є прикаспійські держави, дозволяють забезпечувати єдиний рівень охорони тварин, зокрема рідкісних, місця їх існування, а також рослин. Найбільш складною є ситуація пов'язана із регулюванням видобутку вуглеводнів, судноплавства, експлуатації трубопровідного транспорту, забруднення моря з наземних джерел, діях в надзвичайних ситуаціях [117].

В Азербайджанській Республіці міжнародне співробітництво здійснюється відповідно до Конституції, що передбачає верховенство міжнародного права, а також принципів і вимог, встановлених у Законі «Про охорону навколишнього середовища». Зокрема, при здійсненні міжнародного співробітництва Азербайджан зобов'язується прагнути до загальної екологічної безпеки, активно брати участь у вирішенні регіональних та глобальних екологічних проблем, не порушувати суверенних прав інших держав на їх природні ресурси, брати участь у міжнародному інформаційному обміні, співпрацювати в ліквідації негативних наслідків екологічних катастроф, розширювати наукові і технічні зв'язки у сфері

екології природокористування. Проголошені принципи демонструють добру волю і зацікавленість держави у розвитку міжнародного екологічного співробітництва в цілому, включаючи Каспій.

Ісламська Республіка Іран бере участь у міжнародному співробітництві на основі Конституції. Передбачається, що всі міжнародні угоди підлягають затвердженню Міллі Меджлісом. Департамент охорони навколишнього середовища відповідає за розвиток міжнародного співробітництва з екологічних питань. Відносно Каспійського регіону, Іран відкритий для співпраці. Сьогодні в цій сфері країна дотримується позиції щодо визнання, як основи для визначення правового режиму Каспійського моря, двох угод, підписаних із РРФСР в 1921 році і з СРСР в 1940 році.

У Республіці Казахстан основи правового регулювання міжнародного співробітництва також проголошені в Конституції, відповідно до якої міжнародні договори мають верховенство [118]. Види договорів, порядок їх ратифікації приєднання та інші процесуальні вимоги встановлені Указом Президента, що мають силу закону від 12 грудня 1995 року «Про порядок укладання, виконання та денонсації міжнародних договорів Республіки Казахстан». Таким чином, усвідомлюючи серйозність ситуації, що складається, водночас неможливість її вирішення зусиллями однієї країни, Казахстан бере активну участь в міжнародних програмах щодо збереження навколишнього середовища [119], крім цього, порядок здійснення міжнародного співробітництва, загалом, регулюється низкою законів, зокрема Законом «Про участь у міжнародному інформаційному обміні».

Як і в інших прикаспійських країнах СНД, у Конституції Туркменістану проголошено про верховенство міжнародних договорів, особливе значення має правовий статус, не тільки тому, що він відносить Каспійське море до тієї чи іншої категорії водойм, а головним чином тому, що він встановлює межі національної юрисдикції і визначає права прибережних держав на природні ресурси. Спеціального законодавства щодо забезпечення екологічної безпеки не прийнято.

Правове регулювання природокористування і охорони навколишнього середовища регіону Каспійського моря здійснюється у всіх державах на основі

загальних комплексних законів про охорону навколишнього середовища, а також законів, що встановлюють правовий режим окремих природних об'єктів – надр, тваринного світу, вод, прибережної зони, територій під охороною. Таким чином, остаточне визначення правового статусу Каспійського моря дозволить вирішити питання про поділ ресурсів водойми і охорони навколишнього середовища, а також закріпити означену проблему в основній п'ятисторонній угоді щодо правового режиму Каспію.

У прикаспійських країнах СНД за останнє десятиліття законодавство мало оновлення, що пов'язано з відомими політичними змінами в регіоні і здійснювалося переважно на основі екологічного законодавства, прийнятого в СРСР. Більшість законів зберегли і старі підходи, і структуру, а також часто контент. До нових політичних умов адаптована система державного управління і суттєво реформовані відносини власності. Практично всі закони мають рамковий характер і вимагають для свого розвитку прийняття безлічі підзаконних актів.

Останнім часом ці норми набувають більше практичного значення і допомагають громадськості впливати на прийняття державних рішень у своїх країнах. Але, тим не менше, ця ніша має і чимало проблем, зокрема викликаних недостатнім розвитком конституційних норм у законах і підзаконних актах, а також їх незадовільним виконанням [120].

Процедурно, у всіх країнах закони приймаються законодавчими органами. Варто звернути увагу, у Казахстані Президенту країни надано право приймати укази, які за юридичною силою прирівняні до законів. Також у Російській Федерації регулювання в галузі екологічної безпеки віднесено до спільного ведення РФ і суб'єктів РФ, коли відповідні нормативні акти приймаються як на федеральному рівні, так і на рівні суб'єкта Федерації [121].

Екологічне законодавство Ірану переважно датується 70-ми роками ХХ століття, хоча впродовж наступних років до законів вносилися поправки. Більшість законів містять детально розроблені норми, що встановлюють необхідні процедури, які передбачають розподіл компетенцій між органами

виконавчої влади та міру юридичної відповідальності. Такі норми найчастіше не вимагають подальшого розвитку в підзаконних актах [122].

Прикаспійські країни відразу ж після здобуття незалежності виступили із пропозицією в якнайкоротший термін укласти Конвенцію про охорону і раціональне використання природних ресурсів Каспійського моря. Живі морські ресурси Каспійського моря (в першу чергу рибні ресурси) серйозно скоротилися за останні кілька років. Розпад СРСР призвів до руйнування існуючої системи управління та контролю за рибними ресурсами. Найперше – відсутність координації в рибальстві, і особливо браконьєрство, становлять загрозу рибному промислу на Каспії. Отже, обмеженість рибних ресурсів Каспію і їх вразливість вимагає координації чіткої політики і діяльності прибережних держав в галузі рибальства [123].

Існуюче регіональне управління живим морськими ресурсами довело свою ефективність в різних регіонах світу. З урахуванням такої практики після проведення двосторонніх та багатосторонніх консультацій прикаспійські країни протягом трьох років (1992-1995 рр.) розробили проект Угоди про збереження та використання біоресурсів Каспійського моря.

У 1995 році в Ашхабаді (Туркменія) відбулася нарада для остаточного узгодження проекту. Питання, яке залишалося відкритим до початку наради, – це розмір зони виняткової рибальської юрисдикції. Позиції сторін були різними: Росія – 15, Казахстан – 25, Іран – 30, Азербайджан і Туркменістан – 40 морських миль. У погодженому і прийнятому остаточному тексті угоди 4 країни (Росія, Казахстан, Іран і Туркменістан) зазначили про 20-мильний кордон рибальської зони прибережних держав. Азербайджан відмовився, аргументуючи, що прийняття угоди зумовить остаточне рішення щодо юридичного статусу Каспійського моря [124].

Угода не торкалася питань визначення статусу Каспійського моря, а було сформульовано режим дослідження і використання біоресурсів Каспію, який розглядався як єдина екологічна система. Біоресурси є загальними для всіх прибережних держав і вони несуть відповідальність за їх охорону, відтворення і

оптимальне використання. Вести вилов риби в зоні угоди мають право тільки громадяни та/або юридичні особи прикаспійських держав. Стаття 1 визначає, що ця зона включає все Каспійське море, зокрема частини річок, куди мігрують або де відкладають ікру мігруючі види риб. Прибережні держави можуть встановлювати зони рибальської юрисдикції на відстані до 20 морських миль від свого узбережжя, за умови, що рибальським суднам інших держав буде дозволено продовжувати вести лов риби в цих зонах на підставі ліцензії [125].

Щоб уникнути вирішення питання щодо правового статусу моря, були передбачені два спеціальних положення. Відповідно до першого, ширина рибальських зон може змінюватися залежно від майбутньої угоди про правовий статус Каспійського моря. Згідно з другим положенням, створення цих зон не повинно впливати на використання мінеральних ресурсів, судноплавство та іншу діяльність, не пов'язану з використанням біологічних ресурсів.

Важливе місце у проекті Угоди відведено збереженню запасів осетрових. Одним з найважливіших шляхів впливу на чисельність стала раціоналізація їх промислу, розроблені умови лову, намічені конкретні заходи з охорони і регулювання промислу в різних районах, запропонована і здійснена концепція їх відтворення. Також у проекті передбачалося використання квот як головного інструмента управління рибальством. Лов осетра у відкритому морі заборонений і обмежений річками, що впадають в море, а також їх дельтами на території прибережних держав. У спеціальній поправці до угоди був виняток з цього правила – Ірану дозволено продовжувати вести традиційний лов осетра поблизу його узбережжя в межах його квоти. Доступ рибалок із інших прикаспійських держав дозволений на певних умовах і базується на квотах, виділених кожній державі. Сторони також мають узгоджувати свою експортну політику, ціни і експортні квоти на рибопродукти та ікру осетрових.

На збереження осетрових покликана справити позитивний вплив і реалізація програм з підтримки запасів осетрових на безпечному біологічному рівні, який би дозволяв отримувати оптимальні улови на довгостроковій основі.

Таким чином, цей механізм погодження і реалізації рибальської політики держав за межами дії рибальської юрисдикції покликаний регулювати широке коло взаємовідносин прикаспійських держав з управління, збереження, дослідження і використання біоресурсів Каспійського моря.

Іще одна особливість Угоди – створення спеціального організаційного механізму: Комітету з охорони та використання біологічних ресурсів Каспійського моря, який має право виносити рішення, обов'язкові для країн-учасниць, щодо широкого спектра проблем. Серед них – визначення загального дозволеного вилову риби та інших морських живих ресурсів в районах, що знаходяться за межами національної юрисдикції; розподіл квот між сторонами; координація політики в галузі рибальства та охорони морського середовища; вжиття заходів щодо охорони і регулювання рибних ресурсів [126].

У цілому це є збалансований документ, де відображені як інтереси прибережних держав, так і вимоги до раціонального використання та охорони морських живих ресурсів. Єдиним суперечливим моментом є спеціальна поправка, яка надає Ірану окремі пільги щодо рибальства, що є несправедливим відносно інших прикаспійських держав.

Неузгодженою залишилася стаття, в якій конкретно визначені межі дії рибальської юрисдикції прикаспійських держав. Передбачити розвиток подій щодо домовленостей про правовий статус Каспійського моря вельми проблематично. На зустрічі міністрів закордонних справ п'яти прикаспійських держав, що відбулася 11–12 листопада 1996 року в Ашхабаді, було заявлено в спільному комюніке про те, що Каспійське море має життєво важливе значення для всіх прикаспійських держав. Міністри заявили про відповідальність своїх держав перед нинішніми і майбутніми поколіннями за збереження Каспію і погодилися з тим, що першочерговим і невідкладним завданням є розробка укладення на основі загальної згоди всіх прикаспійських держав Конвенції про правовий статус Каспійського моря.

У цих умовах, враховуючи, що найбільш розвинутою економічною діяльністю всіх п'яти прикаспійських держав є рибальство, актуальним стало

підписання розробленої Угоди про збереження використанні біоресурсів Каспійського моря і введення його в дію, врятує, перш за все, осетрових від їх повного знищення.

Важливо, що одним із основних напрямів діяльності Комісії з водних біоресурсів Каспійського моря стало доопрацювання Угоди про збереження біоресурсів Каспійського моря і управління ними, підписання якої усіма п'ятьма державами буде повністю відповідати рекомендаціям СІТЕС про розробку принципів спільного управління біоресурсами Каспійського моря. Тож на черговому засіданні робочих груп в м. Баку (9–11 жовтня 2002 р.) російською делегацією була запропонована нова редакція Угоди. За основу були взяті два проекти Угоди: про збереження та використання біоресурсів Каспійського моря (1996 р.); про збереження біологічних ресурсів Каспійського моря і управління ними (2002 р.), підготовлені Російською Федерацією.

Представниками прикаспійських держав було підписано Протокол робочої групи щодо розробки проекту Угоди про збереження біоресурсів Каспійського моря і управління ними. На підставі пунктів цього протоколу секретаріатом підготовлений підсумковий проект Угоди для його узгодження на черговому 18-му засіданні Комісії з водних біоресурсів Каспійського моря.

Знаковою подією стало підписання 4 листопада 2003 року в Тегерані повноважними представниками Азербайджану, Ірану, Казахстану, Росії та Туркменістану Рамкової конвенції по захисту морського середовища Каспійського моря. На зустрічі в Тегерані (липень 2004 р.) Сторін Конвенції були прийняті Рекомендації щодо подальшого розвитку Тегеранської Конвенції [127], зокрема і в частині розвитку Протоколів до неї. Учасники засідання звернулися до Тимчасового Секретаріату з проханням почати розробку інших протоколів: з біорізноманіття, щодо наземних джерел забруднення, щодо оцінки впливу на навколишнє середовище в транскордонному контексті.

Також було рекомендовано поширити текст Протоколу з регіональної співпраці в надзвичайних ситуаціях, для того, щоб країни підготувалися до підписання цього протоколу на першому засіданні Сторін Конференції. Однак у

тексті Тегеранської Конвенції взагалі не оговорювалися слова нафта, танкери, трубопроводи тощо, хоча їх згубності для екосистеми Каспію ніхто не заперечував. Тому першочерговим завданням стала розробка регіональних угод із визначення превентивних заходів щодо дотримання екологічної безпеки у діяльності нафтогазового комплексу на морі й у прибережній зоні та на берегах річок, що впадають в Каспій.

Таким чином, ратифікація Тегеранської конвенції щодо захисту морського середовища Каспійського моря та створення протоколів до неї переводить проблеми екологічної безпеки Каспійського моря на міждержавний рівень співпраці, а також забезпечує дієвість регіональних механізмів для залучення місцевих громад та неурядових організацій до цієї роботи. При цьому сама Тегеранська Конвенція не створює правових механізмів для дотримання екологічної безпеки.

Тому залишалися актуальними активні та невідкладні дії щодо наповнення Тегеранської Конвенції робочими Протоколами та Додатками, що дозволить підняти діяльність з охорони і відновлення природного середовища Каспію на новий, більш ефективний рівень. Також важливим було питання створення Прикаспійськими державами спільного координуючого органу для вирішення екологічних проблем водойми, а також постійно діючої служби екологічної безпеки та системи екологічного моніторингу.

Варто відміти, що сьогодні питання сталого розвитку Каспійського регіону тісно пов'язані з діяльністю міжнародних організацій з контролю за екологічним середовищем, збереженням гідробіонтів, якістю рибної продукції. Тож, у грудні 1992 року в м. Астрахані на підставі рішення повноважних представників рибогосподарських організацій Азербайджанської Республіки, Республіки Казахстан, Російської Федерації та Туркменістану була створена Комісія з водних біоресурсів Каспійського моря, яка мала визначити єдиний механізм координації спільної діяльності в сфері збереження і використання біоресурсів Каспію після розпаду СРСР і утворення нових незалежних держав. У березні 2002 року на позачерговому 17-му засіданні Комісії представники Ісламської Республіки Іран



висловили намір щодо вступу, а на 19-му позачерговому засіданні Комісії з водних біоресурсів (липень 2003 р., м. Астрахань) іранські представники підтвердили своє офіційне членство в Комісії. Таким чином, на цьому засіданні представниками п'яти прикаспійських держав, враховуючи інтереси усіх, було узгоджено й підписано оновлений варіант Положення про Комісію з водних біоресурсів Каспійського моря. Відтак, саме Комісія з водних біоресурсів Каспійського моря відіграє значиму роль у вирішенні вище означених проблем.

Важливо відзначити, що вже вироблений механізм виконання рішень Комісії щодо доопрацювання Угоди про збереження біоресурсів Каспійського моря і управління ними, підписання якої усіма п'ятьма державами буде повністю відповідати рекомендаціям СІТЕС про розробку принципів спільного управління біоресурсами Каспійського моря [128].

Також значиму роль у цьому процесі відіграють і міжнародні громадські організації, діяльність яких спрямована на охорону навколишнього середовища та раціональне використання і відтворення природних ресурсів. Вони є рушійною силою у вирішенні природоохоронних питань. Так, із 1991 року міжнародні та екологічні організації, такі, як World Bank, IAEA, IMO, EU/TASIS, GEF, UNDP, UNEP, IOC взяли за організацію надання допомоги та екологічного співробітництва в Каспійському регіоні – Каспійську Екологічну Програму [129]. Але тільки в травні 1998 року було прийнято остаточне рішення про екологічну програму Каспійського моря, розподіл діяльності між регіональними державами і призначення центру координації виконання програми.

Таким чином, Каспійська Екологічна Програма стала результатом співпраці між Прикаспійськими країнами. Міжнародний проект з'явився завдяки системі організаційних заходів, які дозволили визначити алгоритм спільних дій із метою вирішення екологічних проблем Каспійського моря за сприяння авторитетних міжнародних організацій [130].

Стратегічний План Дій по Каспійському морю (СПД) було розпочато в 2004 році і є другим етапом Каспійської екологічної програми і визначає коло заходів, які необхідно вжити на національному та регіональному рівнях, для

вирішення чотирьох пріоритетних проблем регіонального масштабу, що викликають стурбованість щодо екології: нестійке використання біоресурсів, загроза біорізноманіттю, забруднення, нестійкий розвиток прибережних територій. У Плані, що є рамковим документом регіональної політики, викладаються принципи раціонального використання навколишнього середовища та співпраці, окреслюються труднощі у створенні інтегрованої системи управління навколишнім середовищем Каспійського моря, встановлюються узгоджені на регіональному рівні цільові показники якості навколишнього середовища за чотирма пріоритетними екологічними проблемами в транскордонному контексті та триває робота з визначення завдань і заходів для досягнення цих цілей [131].

Зауважимо, що зміцненню громадського екологічного руху щодо захисту Каспію сприяє й Каспійська програма ICAP, започаткована у 1998 році. Головна її мета – збереження унікальної екосистеми Каспійського моря. Програма всіляко сприяє розвитку громадського екологічного руху, зокрема залучає нових іноземних донорів у роботу в регіоні, а також прагне поліпшити легальний інвестиційний клімат, як для іноземних, так і для місцевих благодійників [132].

Отже, для успішної співпраці у сфері охорони навколишнього середовища Каспію всім прибережним державам потрібно уніфікувати національні правові норми, тобто регламентувати власне державне екологічне законодавство на користь встановлення загальних принципів, єдиних методів і підходів задля екологічної безпеки Каспійського регіону [132]. Усе це сприятиме у правовому полі забезпеченню сталого розвитку цього регіону, дозволить вирішувати не тільки глобальні – міждержавні, але і локальні – пов'язані з діяльністю конкретних комерційних і некомерційних організацій, проблеми екологічної безпеки на Каспійському морі.

### **5.3 Рекомендації щодо зниження ймовірності виникнення екологічних ризиків в Каспійському регіоні**

Каспійський регіон, на разі, можна віднести до числа районів екологічного лиха. Основні проблеми навколишнього середовища тут пов'язані з посиленням техногенного навантаження в регіоні і з діяльністю нафтогазового комплексу. Відтак, реалізація великих господарсько-промислових проектів, пов'язаних з розробкою і експлуатацією природно-сировинних ресурсів, ще більше загострить його екологічний стан.

Таким чином, необхідно створити загальну концепцію раціонального використання ресурсів Каспійського регіону. У ній необхідно враховувати всю сукупність факторів, що впливають на сталий розвиток регіону, увесь комплекс проблем не тільки екологічних, але і геополітичних, правових, економічних тощо.

Для забезпечення правової основи концепції сталого розвитку Каспійського регіону необхідно:

- уніфікація правових норм міжнародним стандартам;
- розвиток програм до Тегеранської Конвенції, які б регулювали створення і дію УРП загроз екологічної безпеки в регіоні;
- розробка і впровадження стандартів та нормативів, що регулюють діяльність нафтових компаній на Каспійському морі в якості превентивних заходів для забезпечення екологічної безпеки;
- доопрацювання й підписання Угоди про збереження та використання біоресурсів Каспійського моря.

Основним завданням при виробленні режиму збереження біоресурсів Каспійського моря має бути встановлення балансу інтересів усіх країн, які ведуть господарську діяльність у регіоні. Єдиним способом врятувати унікальну екосистему Каспійського регіону сьогодні є «Каспійський кондомініум» – спільне володіння морем, розпорядження його ресурсами, при солідарній відповідальності всіх прикаспійських держав за спричинені екологічні наслідки.

Таким чином, така діяльність сприятиме вирішенню як глобальних, так і локальних проблем забезпечення сталого розвитку Каспійського регіону. Відповідно, для Каспійського басейну це значить не лише збереження видів його різноманітності й відновлення природно-господарських комплексів водно-болотних угідь Північного Каспію, а й екологічна безпека населення цього регіону.

### **Висновки до розділу 5**

1. Досліджено особливості співпраці прикаспійських держав у сфері забезпечення сталого розвитку Каспійського регіону, забезпечення екологічної безпеки та раціонального використання природних ресурсів Каспію. Описані фактори, що впливають на сталий розвиток регіону та вплив геополітичних процесів на нього.

2. Розроблені рекомендації щодо створення єдиної міждержавної системи управління навколишнім середовищем та раціонального використання природних ресурсів у Каспійському регіоні.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне питання оцінювання техногенного навантаження на Каспійське море та регіон в цілому, розроблені природоохоронні заходи, що підвищують рівень екологічної безпеки регіону. Одержано наукові результати:

1. На основі аналізу патентної бази та літературних джерел встановлено, що екологічний стан Каспійського моря можна ідентифікувати як загрозливий, оскільки фіксується високий рівень забруднення нафтопродуктами, пестицидами, важкими металами тощо, що надходять переважно з річковим стоком внаслідок діяльності нафтової промисловості, сільського господарства, розвитку урбанізації.

2. Визначено, що основними факторами, які впливають на сталий розвиток Каспійського регіону, є геополітичні, правові, нафтові, транспортні, біологічні та природні. Особливої уваги заслуговують процеси, які пов'язані із зміною інфраструктури Каспійського регіону.

3. Проведено екологічний моніторинг Каспію з використанням супутникового дистанційного зондування, на підставі чого виявлено райони найбільш інтенсивного забруднення і джерела забруднення морської поверхні Каспійського моря. Аналіз просторового розподілу нафтового забруднення акваторією Каспію показав, що основна маса забруднень припадає на північно-західну частину Каспійського моря. Встановлено, що найбільш поширеними є плівкові забруднення.

4. Розроблена система оцінювання техногенного навантаження, що попереджає виникнення екологічних ризиків. Для прогнозування рівня навантаження розроблено систему індикаторів та сигнальних показників якості, що враховує як фізико-хімічні властивості абіотичної компоненти екосистеми, так і параметри еколого-трофічних груп біоти.

5. На підставі розробленої гідродинамічної моделі розтікання нафти в Каспійському морі одержано формулу для визначення кінцевого радіусу нафтової плівки в певний момент часу, що дозволяє прогнозувати масштаби аварійних розливів нафти в море і, як наслідок, зону максимального ураження екосистеми. Розроблена модель розрахунку розливу нафтових забруднень дозволила розрахувати об'єм та площу нафтової плівки, необхідні для обґрунтування вибору методу очищення нафтового забруднення на поверхні моря.

6. Розроблена та апробована технологія очищення нафтових забруднень Каспійського моря із застосуванням біохімічного методу ліквідації забруднення. Розроблений гібридний біохімічний препарат для очищення морських нафтових забруднень, ефективність якого обумовлена підвищенням активності деструкції нафтових вуглеводнів мікробною плівкою, іммобілізованою на живильному носії. Препарат одержано у вигляді гранул, які легко застосовувати в умовах морського середовища.

7. Розроблені рекомендації щодо створення єдиної міждержавної системи управління навколишнім середовищем та раціонального використання природних ресурсів у Каспійському регіоні, що забезпечує зниження виникнення екологічних ризиків.

8. Розроблено рекомендації щодо створення регіональної системи екологічної безпеки та її механізм з урахуванням впливу геополітичних процесів, що полягає у таких аспектах: уніфікація правових норм міжнародним стандартам; розвиток програм до Тегеранської Конвенції; розробка і впровадження стандартів та нормативів, що регулюють діяльність нафтових компаній на Каспійському морі в якості превентивних заходів для забезпечення екологічної безпеки; доопрацювання й підписання Угоди про збереження та використання біоресурсів Каспійського моря.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Sur H. I., Ozsoy E., Ibrayev R. Oceanography and Society. *Elsevier Science B.V.* Chapter 16. 2000. P. 289–297.
2. Kroonenberg S. B., Kasimov N. S., Lychagin M. Y. The Caspian Sea, a natural laboratory for sea-level change. *Geography, Environment, Sustainability*. 2008. Vol. 1. P. 22–37.
3. Mamaev V. The Caspian Sea – enclosed and with many endemic species. *Europe's biodiversity – biogeographical regions and seas*. P. 6.
4. Сулейменов Б. Охрана водных ресурсов. *Экологический курьер INT*. 2006. 1–15 ноября. С. 5.
5. Нестерова М. П. Методы и средства борьбы с нефтяными загрязнениями вод Мирового океана. Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана / под ред. М. П. Нестеровой. Ленинград : Гидрометеиздат, 1989. 206 с.
6. Израэль Ю. А., Цибань А. В. Антропогенная экология океана. Москва : Флинта: Наука, 2009. С. 529.
7. Бостанбеков К. А. Разработка геоинформационной системы для хранения, обработки и представления данных экологических исследований : дисс. ... доктора философии : 6D070400. Алматы, 2018. 131 с.
8. Гюль А. К.-О. Комплексное изучение техногенного загрязнения Каспийского моря : автореф. дисс. ... д-ра. геогр. наук : 25.00.36. Баку. 2003. 52 с.
9. Бадалова А. Н. Роль спутниковой информации в задачах экологического мониторинга прибрежной зоны каспийского моря. *Исследование земли из космоса*. 2012. № 2. С. 62–72.
10. Пространственно-временное распределение пленочных загрязнений в Черном и Каспийском морях по данным космической радиолокации: сравнительный анализ / Кучейко А. А., Филимонова Н. А., Евтушенко Н. В. и др. *Исследование земли из космоса*. 2017. № 2. С. 13–25.
11. Трансграничный диагностический анализ Каспийского моря //

Каспийская экологическая программа. Баку : КЭП, 2002. С. 136.

12. Панасенко Д. Н. Экологическая безопасность Каспийского моря в условиях нефтегазодобывающей деятельности. *Вестник АГТУ, серия Экология*. 2004. № 2. С. 136–142.

13. Ruchevskaya I., Mitrofanov I., Guchgeldiev O., Emelin V., Krutov A. Caspian Sea. State of the Environment : report of the interim secretariat of the Framework Convention for the Protection of the Caspian Sea Environment and Bureau for Management and Coordination of the CASPECO Project. 2011. 110 p.

14. Осипова В. П., Берберова Н. Т., Пименов Ю. Т. Пути попадания нефти в акватории Каспийского моря. Токсичность и механизмы самоочищения. *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2005. №2. С. 15–19.

15. Мерчева В. С. Экологическая ответственность при разработке нефтегазовых месторождений Прикаспия. *Астраханский вестник экологического образования*. 2012. №3. С. 94–101.

16. Ручевская И., Митрофанов И., Гучгельдиев О., Емелин В., Крутов А. Каспийское море. Состояние окружающей среды. Доклад временного секретариата Рамочной конвенции по защите среды Каспийского моря и бюро управления и координации проекта «КАСПЭКО». 2011. 110 с.

17. Кахраманова Ш. Ш. Влияние урбанизации на Апшероне на загрязнение прибрежной полосы Каспийского моря. *Академический вестник УралНИИПроект РААСН*. 2012. №4. С. 7–12.

18. Пляцук Л. Д., Аблеева И. Ю., Габбасова С. М., Аблеев А. Г., Сипко И. А. Анализ источников антропогенного воздействия на природную среду Каспийского моря. *Екологічна безпека*. 2018. № 2 (26). С. 49–58.

19. Абдурахманов Г.М., Ахмедова Г.А., Гасангаджиева А.Г. Загрязнение западной части среднего Каспия нефтяными углеводородами и биологическое разнообразие. *Вестник Астраханского государственного технического университета*. 2006. № 3. С. 151–158.

20. Патин С. А. Антропогенное воздействие на морские экосистемы и биоресурсы: источники, последствия, проблемы. *Промысловые виды и их*



*биология*. 2015. Том 154. С. 85–104.

21. MonkhoV S. K., Esina O. I., Monakhov G. A., Tatarnikov V. O., Sorokin R. V. Geocological indicators of sea pollution: methods of calculation and application. Astrakhan. 2014. P. 82.

22. Monakhova G. A., Esina O. I., Tatarnikov V. O., Monakhov S. K. Assessment of marine pollution in areas of oil and gas production on the sea shelf // *Environmental protection in the oil and gas complex*. 2014. Vol. 1. P. 32–37.

23. Монахов С. К. Обзор состояния и загрязнения морской среды северо-западной части Каспийского моря в 2014 году / под ред. С. К. Монахова. Астрахань. 2015. 103 с.

24. Джакупова И. Б., Божбанов А. Ж. Влияние транспортировки нефти на окружающую среду Западного Казахстана. *Инновационная наука*. 2015. № 5. С. 225–226.

25. Долгополова В. Л., Патрушева О. В. Способы очистки акваторий от нефтяных загрязнений. *Молодой ученый*. 2016. № 29 (133). С. 229–234.

26. Тучкова О. А. Структурообразователи для обеспечения экологической безопасности при разливах нефти и нефтепродуктов. *Вестник технологического университета*. 2017. Том 20. № 16. С. 44–46.

27. Хуе J., Yu. Y., Bai Y. Marine Oil-Degrading Microorganisms and Biodegradation Process of Petroleum Hydrocarbon in Marine Environments: A Review. *Current microbiology*. 2015. T. 71. Vol. 2. P. 220–228.

28. Башкин В. Н., Галиулин Р. В., Галиулина Р. А. Аварийные разливы углеводородов в водную среду: проблемы и пути их решения. *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2010. Вып. 11. С. 4–7.

29. Куликова И. Ю., Держинская И. С. Современные технологии очистки почвенных территорий и водных акваторий от нефтяного загрязнения. *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2008. Вып. 25. С. 72–75.

30. Собгайда Н. А., Финаенов А. И. Новые углеродные сорбенты для очистки воды от нефтепродуктов. *Экология и промышленность России*. 2005. Вып. 12. С. 8–11.

31. Применение терморасширенного графита при ликвидации разливов нефти / Д. Б. Тангиева и др. *Химия и химическое образование. XXI век.* Владикавказ : Северо-Осетинский государственный университет им. К. Л. Хетагурова. 2014. С. 207–210.
32. Ивасишин П. Л. Ликвидация последствий нефтеразливов посредством биоразлагающих сорбентов. *Экология производства.* 2009. №5. С. 67–69.
33. Использование отходов производства в качестве сорбентов нефтепродуктов / Н. А. Собгайда и др. *Экология и промышленность России.* 2009. Вып. 1. С. 36–38.
34. Синтез магнитных нефтесобирателей на основе модифицированных опилок древесины / С. И. Цыганова и др. *Экология и промышленность России.* 2014. Вып. С. 18–21.
35. Полникова Т. И., Хоанг К. Б. Особенности технологии первичных углеродных сорбентов экологического назначения на основе лигнина. *Тонкие химические технологии.* 2014. Т. 9. Вып. 5. С. 94–95.
36. Отходы переработки льна в качестве сорбентов нефтепродуктов. Влияние химической обработки на гидрофобность и нефтепоглощение / И. Г. Шайхиев и др. *Вестник Башкирского университета.* 2010. Т. 15. Вып. 3. С. 607–609.
37. Сергиенко В. И., Земнухова Л. А. Возобновляемые источники химического сырья: комплексная переработка отходов производства риса и гречихи. *Российский химический журнал.* 2004. Т. 48. Вып. 3. С. 116–124.
38. Земнухова Л. А., Шкорина Е. Д. Изучение сорбционных свойств шелухи риса и гречихи по отношению к нефтепродуктам. *Химия растительного сырья.* 2005. Вып. 2. С. 51–54.
39. Долгих О. Г., Овчаров С. Н. Получение нефтесорбентов карбонизацией лузги подсолнечника. *Экология и промышленность России.* 2009. Вып. 11. С. 4–7.
40. Высокочастотная плазменная модификация лузги пшеницы с целью повышения сорбционной емкости / С. М. Трушков и др. *Экспозиция Нефть Газ.* 2012. Вып. 2. С. 56–59.

41. Исследование возможности использования жома сахарной свеклы в качестве сорбционного материала легких нефтепродуктов / И. Г. Шайхиев и др. *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. Т. 18. Вып. 13. С. 246–248.

42. Шайхиев И. Г., Шайхиева К. И., Мавлетбаева А. И. Исследование возможности использования жома сахарной свеклы в качестве сорбционного материала нефти. *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. Т. 18. Вып. 14. С. 236–237.

43. Овчинникова А. А., Александрова А. В. Исследование способов модификации свойств полисахаридных сорбентов. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2011. Вып. 71. С. 171–188.

44. Использование бересты коры березы для получения сорбционных материалов / Е. В. Веприкова и др. *Журнал Сибирского федерального университета*. Серия: Химия. 2012. Т. 5. Вып. 2. С. 178–188.

45. Нифталиев С. И., Перегудов Ю. С., Подрезова Ю. Г. Ферромагнитный сорбент для сбора нефти с водной поверхности. *Экология и промышленность России*. 2012. Вып. 10. С. 24–25.

46. Альжанов Б. А., Горовых О. Г. Содержание растворенных углеводов нефти в объеме воды при использовании различных методов ликвидации аварийных разливов нефти. *Тенденции и перспективы развития современного научного знания : материалы XVI Международной научно-практической конференции, Москва : Научно-информационный издательский центр «Институт стратегических исследований»*. 2015. С. 29–33.

47. Калюжин В. А. Использование аборигенных видов микроорганизмов при комплексных работах по очистке территорий от последствий разливов нефти. *Вестник Томского государственного университета*. 2009. Вып. 327. С. 200–201.

48. Войно Л. И. Биодegradация нефтезагрязнений почв и акваторий. *Фундаментальные исследования*. 2006. Вып. 5. С. 1–4.

49. Гуславский А. И., Канарская З. А. Перспективные технологии очистки

воды и почвы от нефти и нефтепродуктов. *Вестник Казанского технологического университета*. 2011. Вып. 20. С. 191–199.

50. Куликова И. Ю., Держинская И. С. Микробиологические способы ликвидации последствий аварийных разливов нефти в море. *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2008. Вып. 5. С. 24–29.

51. Корольченко Д. А. Современные биоремедиационные технологии. *Пожаровзрывобезопасность*. 2007. Т. 16. Вып. 5. С. 75–78.

52. Серебренникова М. К. Биодegradация нефтяных углеводородов иммобилизационными родококками в колоночном биореакторе : дисс. ... канд. биол. наук : 03.02.03. Пермь. 2014. 159 с.

53. Uzochukwu C. U., Manning D., Fialips C. I. Microbial Degradation of Crude Oil Hydrocarbons on Organoclay Minerals. *Journal of Environmental Management*. 2014. Vol. 144. P. 197–202.

54. Куликова И. Ю., Держинская И. С., Нетрусов А. И. Изучение возможности применения биопрепарата «PHYLOIL» для ликвидации аварийных разливов нефти в море. *Вестник Московского Университета*. Серия 16. Биология. 2010. Вып. 3. С. 26–30.

55. Биосорбент для ликвидации нефти с поверхности водоемов : пат. 2529771 Российская Федерация, № 2013118363 ; заявл. 19.04.13 ; опубл. 27.09.14, Бюл. № 27. 8 с.

56. Жмырко Т. Г., Новикова Т. К. Очистка нефтесодержащих вод сорбентами. *Эксплуатация морского транспорта*. 2015. Вып. 2 (75). С. 92–98.

57. Gentilia A. R., Cubitto M. A., Ferrerob M., Rodrigue'z M. S. Bioremediation of Crude Oil Polluted Seawater by A Hydrocarbon Degrading Bacterial Strain Immobilized on Chitin and Chitosan Flakes. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2006. Vol. 57. P. 222–228.

58. Self-Immobilised Bacterial Consortium Culture as Ready-To-Use Seed for Crude Oil Bioremediation under Various Saline Conditions and Seawater / W. K. Kee, et al. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2014. Т. 12. Vol. 7. P. 2253–2262.

59. Микробиологический подход к реабилитации экосистем, загрязненных нефтепродуктами и отходами бурения, при проведении буровых работ на морском шельфе / Э. В. Карасева и др. *Наука Кубани*. 2008. Вып. 1. С. 14.

60. Шарапова И. Э., Удоратина Е. В., Лаптева Е. М. Использование биосорбентов на основе целлюлозосодержащих отходов для очистки водных сред от нефтезагрязнений. *Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства* : материалы III Международной научной экологической конференции, г. Краснодар, 20-21 марта 2013 года. Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет, 2013. С. 405–408.

61. Балтренас П. Б., Вайшис В. И., Бабелите И. А. Натуральное сырье для производства сорбента нефтепродуктов. *Экология и промышленность России*. 2004. Вып. 5. С. 36–39.

62. Шубаков А. А., Шарапова И. Э., Михайлова Е. А. Использование микроводорослей для биоремедиации водных сред. *Технические науки – от теории к практике*. 2012. Вып. 14. С. 119–126.

63. Биосорбент для очистки водной поверхности от нефти и нефтепродуктов : пат. 2299181 Российская Федерация. № 2005124814/13 ; заявл. 03.08.05; опубл. 10.02.07, Бюл. № 14. – 6 с.

64. Биотехнологические альтернативы традиционным технологиям в нефтегазовой отрасли / В. А. Винокуров и др. *Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И. М. Губкина*. 2009. Вып. 2. С. 57–72.

65. Снижение экологической нагрузки от разливов нефти и нефтепродуктов с помощью сорбента на основе пенополиуретана и отходов зерновых культур / Н. С. Чикина и др. *Вестник Казанского технологического университета*. 2009. Вып. 6. С. 184–192.

66. Стекловидные фосфатные материалы в новых технологиях очистки почвы и воды от нефтепродуктов / И. В. Бойкова и др. *Экология и промышленность России*. 2006. Вып. 11. С. 7–8.

67. Физико-химические аспекты получения нефтесорбентов из фосфатных

пеностекло и кинетика нефтепоглощения / В. Е. Коган и др. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2014. Вып. 4–1. С. 33–36.

68. Чикина Н. С., Мухамедшин А. В., Зенитова Л. А. Обеспечение экологической безопасности при разливах углеводородов с помощью сорбента на основе пенополиуретана и шелухи гречихи. *Безопасность жизнедеятельности*. 2008. № 9. С. 49–53.

69. Морозов, Н. В., Хуснетдинова Л. З., Жукова О. В. Использование иммобилизованных на органическом сорбенте нефтеокисляющих микроорганизмов для очистки воды от нефти. *Фундаментальные исследования*. 2011. Вып. 12. С. 576–579.

70. Панкеев В. В., Панова Л. Г., Свешникова Е. С. Модификация целлюлозосодержащих отходов, обеспечивающая создание сорбентов с высокой удельной нефтеемкостью. *Технические науки – от теории к практике*. 2012. Вып. 7–2. С. 59–63.

71. Морозов Н. В., Хуснетдинова Л. З. Органические субстраты растительного происхождения и их использование для биостимуляции процессов микробиальной очистки воды от нефтяных загрязнений. *Вестник Татарского государственного гуманитарно-педагогического университета*. 2010. Вып. 4 (22). С. 82–86.

72. Серебренникова М. К., Тудвасева М. С., Куюкина М. С. Биологические способы очистки нефтезагрязненных сточных вод (обзор). *Вестник Пермского университета*. Серия: Биология. 2015. Вып. 1. С. 15–30.

73. Калюжин В. А. Утилизация техногенных органических соединений аборигенной микрофлорой. *Вестник Томского государственного университета*. 2009. Вып. 328. С. 188–192.

74. Каспийское море // Вікіпедія. URL: [https://wiki.web.ru/wiki/Каспийское\\_море](https://wiki.web.ru/wiki/Каспийское_море) (дата звернення 14.02.2021)

75. Interpretation of Caspian Sea Sediment Data, Caspian Environment Programme. 2002.

76. Lyulko I., Ambalova T., Vasiljeva T. To Integrated Water Quality Assessment

in Latvia. MTM (Monitoring Tailor-Made) III. *Proceedings of International Workshop on Information for Sustainable Water Management*, Netherlands. 2001. P. 449–452.

77. Островская Е. В., Войнова М. В. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях выделенных районов Северного Каспия. *Астраханский вестник экологического образования*. 2018. № 4 (46). С. 4–11.

78. Mamedli S. T. Report on Fishery in Azerbaijan, Economics of Biodiversity Utilization, Caspian Environment Programme. 2009.

79. Transboundary Diagnostic Analysis Revisit. *CEP*. 2007.

80. Сутырина Е. Н. Дистанционное зондирование земли : учеб. пособие / за ред. Е. Н. Сутырина. Иркутск : ИГУ. 2013. 165 с.

81. Малинников В. А., Стеценко А. Ф., Алтынов А. Е., Попов С. М. Мониторинг природной среды аэрокосмическими средствами: учебное пособие для студентов вузов. Москва : МИИГАиК. 2008. 145 с.

82. Х. фон-Квильфельт С., Доммаснес А. Предложения по выработке индикаторов и целевых показателей качества окружающей среды для Баренцева моря. Отчет по результатам проекта в рамках Программы управления для Баренцева моря. 2005.

83. Сочнев, О. Я., Сочнева, И. О., Хистяев, А. А. Экологическая безопасность и экологический мониторинг поисково-оценочных работ на газ в Обской и Тазовской губах в 2000–2009 годах. *Арктика: экология и экономика*. 2012, № 3(7). С. 44.

84. Plyatsuk L. D., Ablicieva I. Yu., Gabbasova S. M., Mamutova A. A. System approach to the assessment of anthropogenic impact on marine ecosystems during oil production activities. *Environmental problems*. 2018. Vol. 3. No. 3. P. 157–166.

85. Надиров Н. К. Нефть и газ Казахстана: в 2-х частях. Алматы : Гылым. Ч. 1. 1995. С. 316–396.

86. MIKE 21 & MIKE 3 PA/SA. Particle Analysis and Oil Spill Analysis Module. User Guide. 2008. 108 p.

87. MIKE 21/3 Oil Spill. Oil Spill Model. User Guide. 2014. 52 p.

88. Gardiner C. W. Handbook of stochastic methods for Physics Chemistry and

Natural Science. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*. 2009. 447 p.

89. Kloeden P. E., Platen E. Numerical solution of stochastic differential equations. Berlin : Springer-Verlag, Third corrected printing. 1999. 636 p.

90. Mackay D., Buist I., Mascaraenas R., Paterson S. Oil spill processes and models: report to Environment Protection Service. Ottawa : University of Toronto. 1980. № EE-8. 120 p.

91. Betancourt F., Palacio A., Rodriguez A. Effects of the Mass Transfer Process in Oil Spill. *American Journal of Applied Science*. 2005. № 2. P. 939–946.

92. Лаврова О. Ю., Митягина М. И., Уваров И. А., Лупян Е. А. Текущие возможности и опыт использования информационной системы See the Sea для изучения и мониторинга явлений и процессов на морской поверхности. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019. Том 16. № 3. С. 266–287.

93. Plyatsuk L. D., Gabbasova S. M., Ablieieva I. Yu., Mamutova A. A. Analysis of technogenic load of oil and gas production on Caspian Region. *Journal of Engineering Sciences*. 2018. Vol. 5. Iss. 2. P. H9–H17.

94. Chao Peng, Xinguo Zhao and Guangxu Liu. Noise in the Sea and Its Impacts on Marine Organisms. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2015. 12(10). P. 12304-12323.

95. Жакишева А. А. Пути предотвращения воздействия нефтегазовых производств на окружающую среду. *Вестник Челябинского государственного университета*. 2011. №32 (247). С. 142–149.

96. Пахомова А. С., Затучная Б. М. Гидрохимия Каспийского моря. Ленинград : Гидрометиздат. 1966. 343 с.

97. Golubev G. N. Closed Areas and the Case of the Caspian Sea Basin. *Scientific, Environmental and Political Issues in the Circum-Caspian Region*. NATO ASI Series. 2 Environment, Vol. 29. Kluwer Academic Publishers, 1997. P. 11–16.

98. Мамедов Р. Ф. Международно-правовое содержание и значение Конвенции о правовом статусе Каспийского моря от 12 августа 2018 года. *Проблемы постсоветского пространства*. 2019. № 6(2). С. 175–194.



99. Разработка эффективных пакетов инструментов реализации экологической политики в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии (ВЕЦКА): накопленный опыт и направления реформы. *OECD*. 2003. 114 с.
100. Краснова Н. Правовые и организационные меры охраны и использования природных объектов экосистемы Каспийского моря в прикаспийских государствах Азербайджан, Иран, Казахстан, Россия, Туркменистан. Москва. 2001. 190 с.
101. Берклиев Т. Главные экологические проблемы Каспийского моря. *Вести СОЭС*. 2002. № 2 (21). С. 72–77.
102. Кенжегалиев А. Антропогенная нагрузка морских нефтепоисковых работ на экологию Каспия и методы ее снижения : монография. Алматы : Гылым, 2010. 180 с.
103. Лепилина И. Н., Васильева Т. В., Абдусаматов А. С. Состояние запасов каспийских осетровых в многолетнем аспекте (литературный обзор). *Юг России: экология, развитие*. 2010. № 5(3). С. 57–65.
104. Жильцов С. С. Каспийский регион как геополитическая проблема современных международных отношений (90-е годы XX века) : дис. ... д-ра полит. наук : 23.00.04. Москва, 2004. С. 24.
105. Brendon S. Oil on Troubled Water. *Focus Central Asia*. Alma-Ata. 1995. №. 22. Nov. 30. P. 12–16.
106. Тыныбаев Б. Г., Мухтаров М. Х. Гигиено-экологическая характеристика влияния факторов нефтегазового комплекса на организм человека. *Состояние экосистем прикаспийского региона: проблемы и перспективы* : материалы международной научно-практической конференции, г. Атырау, 2005. С. 176–177.
107. Дурягина Е.Г. Нефтепродукты в морской среде. *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2011. № 17. С. 122–130.
108. Mityagina M., Lavrova O., Satellite Survey of Inner Seas: Oil Pollution in the Black and Caspian Seas. *Remote Sensing*. 2016. Vol. 8. pp. 875–899.

109. Мехдиев Э. Т., Сон М. Г. Меры доверия и безопасности в каспийском регионе. *Правовое государство: теория и практика*. 2014. № 3 (37). С. 124–128.

110. Биоэкологические основы и практические результаты разработки системы защиты биологического разнообразия Каспийского моря от нефтяного загрязнения / А. Ф. Сокольский и др. Астрахань : АГТУ. 2005. 128 с.

111. Алиев Ад. А. Грязевой вулканизм Южно-Каспийского нефтегазоносного бассейна. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2006. № 3. С. 35–51.

112. Дьяченко С. Б. Проблемы правового статуса Каспийского моря. *Московский журнал Международного права*. 1995. № 3. С. 71–82.

113. Белов Г.А., Гармаш Е. С., Майоров С. М. Документы внешней политики СССР : в 25 т. Москва : Госполитиздат, 1959. Том 3 : 1 июля 1920 г. — 18 марта 1921 г. С. 536.

114. Ершов П. И. Лаврентьев А. И., Мирошниченко Б. П. Документы внешней политики СССР : в 25 т. Москва : Политиздат. 1968. Том 14 : 1 января — 31 декабря 1931 г. С. 603–604.

115. Корзун В. А. Конфликтное использование морских и прибрежных зон России в XXI веке. Москва : Экономика. 2004. 557 с.

116. Проблемы законодательного обеспечения экологической безопасности // научная информация по вопросам борьбы с преступностью. – Москва : НИИ Генпрокуратуры, 1995. № 151. С. 2–60.

117. Баймиров М. Е., Анисимов Б. В. Современная энергетика Казахстана и изменение окружающей среды. *Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений* : материалы первой международной конференции «Проблемы сохранения экосистемы Каспия в условиях освоения нефтегазовых месторождений», г. Астрахань, 16-18 февраля 2005 г. Астрахань, 2005. С. 21–25.

118. Конституция Российской Федерации от 25 декабря 1993 года // РФ. URL: <https://rg.ru/2009/01/21/konstitucia-dok.html> (дата звернения 04.03.2021).

119. Краснова Н. Каспийская экологическая программа. Правовые и

организационные меры охраны и использования природных объектов экосистемы Каспийского моря в прикаспийских государствах Азербайджан, Иран, Казахстан, Россия, Туркменистан. Москва. 2001. 190 с.

120. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7 ФЗ «Об охране окружающей среды». *Сборник законодательства РФ*. 2002. № 2. Ст. 133.

121. Сапаров С. М. Правовое регулирование обеспечения экологической безопасности при недропользовании в Каспийском море : дисс. ... к. ю. н. 12.00.10. Москва. 2016. 145 с.

122. Игнатов Е. И., Лукьянова С. А., Соловьева Г. Д. Современное состояние берегов Каспийского моря. Рекреационные ресурсы Каспийского моря: проблемы использования и охраны. Москва : Наука. 1989. С. 13–18.

123. Minutes of the Negotiations of the Caspian States Delegations concerning Draft Agreement on the Conservation and Utilization of the Biological Resources of the Caspian Sea. 30 January to 2 February 1995. Attachment 3, Separate opinion of the Delegation of the Republic of Azerbaijan.

124. Karayev R. Environmental Monitoring of Caspian Oilfields. New Paradigm. New Solutions. *Interdisciplinary Environmental Review*. Lanham, New York, Toronto, Oxford, 2003. Vol. 5. № 1. P. 18–29.

125. Гусейнов М. К., Гусейнов К. М., Гасанова А. Ш. О биологических ресурсах Каспия. *Юг России: экология, развитие*. 2015. № 10(2). С. 38–53.

126. Книжников А. С. Рамочная Конвенция по защите морской среды Каспийского моря – гарант обеспечения экологической безопасности на Каспии. Как этого добиться? *Вестник Каспия*. 2004. № 6. С. 37–41.

127. Трунова С. И. Международное сотрудничество ФГУП «КаспНИРХ» с прикаспийскими странами. Материалы международной конференции, посвященной 105-летию КаспНИРХ. Астрахань: КаспНИРХ, 2002. С. 25–127.

128. Саид Хосейни Сейид Мохаммад Защита водной среды Ирана и региональные организации. *Окружающая среда*. 1998. № 24. С. 25–34.

129. Рубан Л. С. Каспий – море проблем. Москва : Наука, 2003. С. 134.

130. Материалы к государственному докладу о состоянии окружающей

природной среды Российской Федерации по Астраханской области. Министерство природных ресурсов РФ – главное управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Астраханской области. Астрахань, 2003. 190 с.

131. Салимгерей А. А. Правовой статус Каспийского моря (проблемы теории и практики). Алматы: Издательский дом «КазГЮУ». 2003. 207 с.

132. Последствия загрязнения нефтью для окружающей среды. Технический информационный документ. № 13. С. 1–12.

**ДОДАТКИ****Додаток А****Список публікацій за темою дисертації**

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

1. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Yu., Gabbasova S. M., Mamutova A. A. System approach to the assessment of anthropogenic impact on marine ecosystems during oil production activities. *Environmental problems*. 2018. Vol. 3. No. 3. P. 157–166.

2. Plyatsuk L. D., Gabbasova S. M., Ablieieva I. Yu., Mamutova A. A. Analysis of technogenic load of oil and gas production on Caspian Region. *Journal of Engineering Sciences*. 2018. Vol. 5. Iss. 2. P. H9–H17.

3. Пляцук Л. Д., Аблеева И. Ю., Габбасова С. М., Аблеев А. Г., Сипко И. А. Анализ источников антропогенного воздействия на природную среду Каспийского моря. *Екологічна безпека*. 2018. № 2 (26). С. 49–58.

4. Ablieieva I., Sipko I., Gabbasova S. Toxicological and microbiological assessment of oil-polluted soils in biotechnological decontamination. Proceedings of 9-th International Youth Science Forum «*Litteris et Artibus*». Lviv, Ukraine : Lviv Polytechnic National University, 2019. P. 201–207.

5. Ablieieva I., Plyatsuk L., Roi I., Chekh O., Gabbassova S., Zaitseva K., Lutsenko S. Study of the oil geopermeation patterns: a case study of ANSYS CFX software application for computer modeling. *Journal of Environmental Management*. 2021. Vol. 287. P. 112347.

**Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

6. Пляцук Л. Д., Аблеева И. Ю., Габбасова С. М. Комплексная экологически безопасная переработка регенеративной серы. *Сталий розвиток – погляд у майбутнє* : збірник матеріалів семінару (м. Львів, 15 вересня 2017 року). Львів : НУ «Львівська політехніка», 2017. С. 32.

7. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Y., Gabbasova S. M. Assessment of technogenic impact on marine ecosystems during oil production process. *Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : збірник матеріалів 5-го Міжнародного конгресу. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2018. С. 57.

8. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Yu., Gabbasova S. M. Environmental problems of development and offshore oil production for the Caspian region of Kazakhstan. *Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр* : материалы XVII Международной научно-практической конференции. Актау : КГУТИ им. Ш. Есенова, 2018. С. 7–8.

9. Пляцук Л. Д., Габбасова С. М., Аблеєва І. Ю. Дослідження джерел техногенного впливу на водні об'єкти (на прикладі Каспійського моря). *Проблеми екологічної безпеки* : матеріали XVI Міжнародної науково-технічної конференції (4-6 жовтня 2018 р.). Кременчук : ПП Щербатих О. В., 2018. С. 74–76.

10. Gabbasova S., Plyatsuk L., Ablieieva I. Biomonitoring application perspectives in decision of the estimation of the Caspian sea environmental state. *Actual Environmental Problems* : VIII-th International Scientific Conference of young scientists, graduates, master and PhD students. Minsk: International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, 2018. P. 98–99.

11. Габбасова С. М., Аблеєва І. Ю. Экологические проблемы Каспийского моря. *Экология и безопасность* : материалы Международной научно-практической конференции молодых исследователей им. Д. И. Менделеева, посвященной 10-летию Института промышленных технологий и инжиниринга : сборник статей. Т. 2. Тюмень : ТИУ, 2019. С. 162–164.

12. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Yu., Gabbasova S. M. Environmental problems of the Caspian sea associated with the transportation or production of oil on the continental shelf. *Сучасні технології у промисловому виробництві*: матеріали VI Всеукраїнської науково-технічної конференції (Суми, 16-19 квітня 2019 р.). Суми : Сумський державний університет, 2019. С. 213–214.

13. Plyatsuk L. D., Gabbasova S. M., Ablieieva I. Yu. Methodological approaches to the protection of the Caspian Sea marine environment. *Екологія–2019*: VI-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (25-27 вересня 2019 р.). Вінниця : ВНТУ, 2019. С. 80.

14. Plyatsuk L. D., Ablieieva I. Yu., Gabbasova S. M. Methodology for calculating the assessment of technogenic load on marine ecosystems (by the example of the Caspian Sea). *Сучасні технології у промисловому виробництві*: матеріали VII Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 21-24 квітня 2020 р.). Суми : Сумський державний університет, 2020. С. 211–212.

**Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:**

15. Пат. 146472 Україна, МПК (2006.01) В09С 1/10. Спосіб біоремедіації нафтозабруднених об'єктів / І. Ю. Аблеєва, Л. Д. Пляцук, І. О. Бережна, С. М. Габбасова; заявник та патентовласник Сумський державний університет. № u202005565 ; заявл. 27.08.2020 ; опубл. 24.02.2021, бюл. № 8. 4 с.

## Додаток Б

## Патент на корисну модель





## Додаток В

### Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у навчальний процес

ЗАТВЕРДЖУЮ



Ректор Сумського державного  
університету

В. Д. Карпуша  
2021 р.

#### АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи  
Габбасової Сабіни Маратівни  
на тему «Прогнозне оцінювання техногенного навантаження на  
Каспійське море у результаті зміни інфраструктури морської акваторії»  
у навчальний процес

Акт складено комісією у складі:

Голова: Декан факультету технічних систем та енергоефективних технологій, кандидат технічних наук, професор Гусак О. Г.

Члени комісії: 1. Завідувач кафедри екології та природозахисних технологій, доктор технічних наук, професор Пляцук Л. Д.  
2. Заступник декану факультету технічних систем та енергоефективних технологій з методичної роботи, кандидат технічних наук, доцент Савченко С. М.

Комісія провела роботу щодо визначення фактичного впровадження результатів дисертаційного дослідження Габбасової Сабіни Маратівни «Прогнозне оцінювання техногенного навантаження на Каспійське море у результаті зміни інфраструктури морської акваторії» у навчальний процес факультету технічних систем та енергоефективних технологій Сумського державного університету.

За результатами розгляду дисертаційної роботи Габбасової Сабіни Маратівни на тему «Прогнозне оцінювання техногенного навантаження на Каспійське море у результаті зміни інфраструктури морської акваторії» комісією встановлено:

1. Розроблені в дисертаційній роботі науково-методичні підходи до підвищення рівня екологічної безпеки Каспійського моря та реалізації

## Продовження Додатку Б

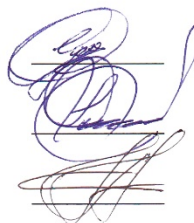
принципів організації раціонального природокористування, розробки регіональних заходів щодо зниження виникнення екологічних ризиків у Каспійському регіоні, створення системи раннього попередження загроз екологічній безпеці використовуються у курсі лекцій з таких дисциплін:

– «Техноекологія» за темою «Техногенний вплив на довкілля паливної та добувної промисловості», «Засоби захисту гідросфери»;

– «Міжнародне співробітництво в галузі екології» за темами «Міжнародне екологічне законодавство», «Реалізація міжнародного співробітництва в сфері охорони довкілля та природозахисних технологій».

Голова комісії

Члени комісії:



О. Г. Гусак

Л. Д. Пляцук

Є. М. Савченко

## Додаток Г

**Результати інтегрально-диференційного підходу до оцінювання  
техногенного навантаження на морські екосистеми**

Таблиця Г.1 – Систематизація індикаторів та сигнальних показників  
техногенного навантаження на морські екосистеми

| Категорії якості | Укрупнені індикатори                       | Уточнені індикатори  |
|------------------|--|--|
| Параметри води   | Гідрологічні                               | Швидкість і напрямок течій, рівень води, замкненість системи, лід.   |
|                  | Фізичні                                    | Температура, солоність, прозорість, кольоровість   |
|                  | Хімічні:<br>неспецифічні<br><br>специфічні | Аніонний і катіонний склад ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ ), N, P, БСК, ХСК, розчинений кисень;<br>нафта, синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАВ), феноли, хлорорганічні сполуки, важкі метали, сірководень.<br>Коефіцієнт небезпеки у межах однієї лімітуючої ознаки шкідливості (ЛОШ):<br>$K = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ГДК}_i};$ умова безпечності $K \leq 1$ . |
| Фітопланктон     | Видовий склад                              | % зелених водоростей від загальної чисельності   |
|                  | Чисельність                                | % синьо-зелених водоростей від загальної чисельності   |
|                  | Біомаса і продукція                        | % діатомових водоростей від загальної чисельності  |
|                  | Біоактивність                              | Швидкість фотосинтезу  |
|                  | Індекс трофності                           | За методом Міліуса: $Ib = 44,87 + 23,22 \cdot \log B$ , де $B$ – загальна біомаса водоростей у пробі;  |
|                  | Індекс сапробності                         | Метод Пантле і Букка в модифікації Сладечека<br>$S = \frac{\sum_{i=1}^N (s_i \cdot h_i)}{\sum_{i=1}^N h_i},$ де $N$ – число обраних видів-індикаторів; $h_i$ – відносна чисельність $i$ -го виду; $s_i$ – індивідуальний індекс сапробності $i$ -го виду.  |

## Кінець таблиці В.1

| Категорії якості | Укрупнені індикатори  | Уточнені індикатори   |
|------------------|---|---|
| Зоопланктон      | Видовий склад<br>Чисельність<br>Біомаса<br>Вторинна продукція | Індекс видового різноманіття Шеннона<br>Індекс видового багатства Маргалефа<br>Індекси домінування<br>Біотести на дафніях (плодовитість, живучість)   |
| Морські риби     | Біомаса<br>Промисел<br>Нерестовий запас                       | Індекс приросту<br>Ступінь вилучення з екосистеми<br>Коефіцієнт відтворення   |
| Морські птахи    | Розвиток популяцій<br>Динаміка популяцій<br>Розмір популяцій  | Кількість видів   |
| Морські ссавці   | Динаміка популяцій<br>Розмір популяцій<br>Вміст ксенобіотиків | Кількість видів<br>Розміри ареалу<br>Коефіцієнт біоаккумуляції КБА = $\frac{C_i}{C_c}$ , де $C_i$ – концентрація і-ої ЗР у тілі, $10^{-6}$ кг/кг; $C_c$ – концентрація і-ої ЗР у середовищі, $10^{-6}$ кг/кг. |
| Бентос           | Біомаса<br>Біотичний потенціал<br>Видове співвідношення       | Вміст радіоактивних елементів<br>Вміст вуглеводнів<br>Вміст важких металів  |