

УДК 504

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.4/33>**Кірсанова В.В.**Дунайський інститут  
Національного університету «Одеська морська академія»**Биковець Н.П.**Дунайський інститут  
Національного університету «Одеська морська академія»**Чумаченко М.Н.**Дунайський інститут  
Національного університету «Одеська морська академія»**Бражник І.Д.**

Національний університет «Одеська морська академія»

## НАФТОШЛАМ СУДНОПЛАВСТВА ЯК ЕЛЕМЕНТ БІОДЕГРАДАЦІЇ НАФТОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ СВІТОВОГО ОКЕАНУ

*Забруднення Світового океану нафтою і нафтовими продуктами є небезпечним екологічним явищем. Розливи нафти реєструються під час видобутку нафти на шельфі та її переробки, під час експлуатації водного транспорту. Частина нафтових забруднень потрапляє в морське середовище з промисловими і комунальними стоками, а також зі стоками річок. Нафтові вуглеводні токсичні для всіх живих організмів і мають негативний вплив на трофічні зв'язки і колообіг речовин. Негативно впливають на біорізноманіття екосистем Світового океану, завдають їм великої шкоди. Вказали на перспективність біоремедіації морського середовища в процесі біодеструкції нафти за допомогою вуглеводноокислюючих мікроорганізмів. Аналізували особливості їх штамів. Бактерії, що містять плазміди біодеградації, володіють розширеним спектром утилізованих вуглеводнів нафти. Звернули увагу на необхідність створення консорціумів штамів вуглеводноокислюючих мікроорганізмів, до складу яких входять вуглеводноокислюючі мікроорганізми і мікроорганізми, які синтезують біосурфактанти. На морських судах накопичується нафтовий шлам у результаті сепарації нафтовмісних вод. У процесі його зберігання можливе культивування біомаси вуглеводноокислюючих мікроорганізмів, а також можливий синтез біосурфактантів. З цією метою необхідно розробити конструкцію суднової нафтошлямової установки, яка працює на основі біодеструкції нафти вуглеводноокислюючих мікроорганізмів. При цьому необхідно звернути увагу на хімічний склад шламу, який складається із залишків палива. Також необхідно розробити технологію синтезу біомаси вуглеводноокислюючих мікроорганізмів у виробничих масштабах. Під час інтродукції мікробіоти до нафтошлямової установки обов'язково враховується гранична допустима концентрація шламу. Технологічний процес повинен забезпечити оптимальну кислотність середовища. Необхідно враховувати абсолютну аеробність мікроорганізмів, що окислюють вуглець. Отриману біомасу мікробіоти можна використовувати для біоремедіації Світового океану. У танках, в яких накопичується нафтовий шлам, також можливе розмноження мікроорганізмів, які синтезують біосурфактанти.*

**Ключові слова:** нафта, нафтове забруднення, вуглеводноокислюючі мікроорганізми, нафтошлам, біосурфактанти.

**Постановка проблеми.** Забруднення Світового океану нафтою і нафтовими продуктами є небезпечною екологічною проблемою. Під час експлуатації водного транспорту і видобутку нафти на шельфі та її переробки реєструються розливи нафти й розливи нафтового палива, викликані пошкодженнями та аваріями. Частина нафтових забруднень потрапляє у морське сере-

довище з промисловими і комунальними стоками, а також зі стоками річок [1].

Нафтові вуглеводні є токсичними для всіх живих організмів, оскільки завдають їм великої шкоди, а також призводять до загибелі. Проведені численні дослідження, присвячені вивченню рівню забруднення морської води вуглеводнями, а також біодеградації нафти і нафтопродуктів

за допомогою мікроорганізмів, що окислюють вуглець у забрудненому морському середовищі. Вивчено ступінь токсичності різних фракцій нафти і токсичність нафтових продуктів. Визначено лімітуючі фактори для різних видів мікроорганізмів, що окислюють вуглець. Однак екологічна проблема нафтового забруднення залишається актуальною і не є розв'язаною [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нафта складається із суміші насичених вуглеводнів з різною молекулярною масою і додатково включає поліциклічні ароматичні вуглеводні, такі як нафталін, антрацен і фенантрен. Всі вони легші за воду, тож у разі потрапляння на її поверхню утворюють тонку плівку на великій площі. В результаті порушується газообмін між атмосферою і гідросферою. Від задухи гине планктон, зосереджений у верхніх шарах гідросфери. Токсична дія вуглеводнів може призвести до летального результату, якщо її рівень перевищує граничні концентрації. Нафтові вуглеводні в печінці риби, у результаті їх активації ферментами, перетворюються на більш токсичні і реактивні продукти. Метаболіти поліциклічних ароматичних вуглеводнів й аліфатичних вуглеводнів є канцерогенними. Вуглеводні, що входять до складу нафти, спричиняють кардіотоксичний вплив, що надалі впливає на фізичну форму і виживання. Виявлено дію нафти на сенсорну функцію і поведінку у разі дуже низьких концентрацій впливу.

Океанські розливи нафти стали основною екологічною проблемою у 1960-х роках, головним чином, у результаті інтенсифікації розвідки і видобутку нафти на континентальних шельфах і використання супертанкерів, здатних перевозити більше 500000 тонн нафти. В історії розвитку судноплавства зареєстровані численні великі аварії нафтоналивних танкерів, які призвели до розливу сотень тонн нафти. Наприклад, у 1967 році танкер *Torrey Canyon* сів на мілину при вході в Ла-Манш і скинув 120000 тонн сирої нафти в море [3]. У березні 1989 року нафтоналивний танкер *Exxon Valdez* сів на мілину в протоці Принца Вільямса і пролив майже 49000 тонн сирої нафти, утворивши нафтову пляму площею 28 тисяч квадратних кілометрів. Було забруднено нафтою близько двох тисяч кілометрів берегової лінії [4].

Вражаючи розливи нафти з розбитих або пошкоджених супертанкерів у наш час рідкісні через суворі вимоги до конструкції судна та екологічні норми експлуатації суден. В активному стані перебувають понад п'ятсот тисяч суден. Основним джерелом енергії для них є важкі фракції нафти.

Одну третину від загальної кількості судів становлять нафтоналивні танкери. Морськими шляхами перевозяться 90% видобутої у світі нафти. Також небезпеку являють берегові забруднення і забруднення річкових стоків, які також містять нафтові домішки. В результаті щорічно повідомляється про тисячі незначних і декілька великих розливів нафти, пов'язаних з розвантаженням свердловин і роботами на танкерах, причому загальна кількість нафти, яка щорічно випускається у світові океани, перевищує один мільйон метричних тонн. У поєднанні з природним просочуванням з дна океану ці джерела додають нафту до світових водних шляхів зі швидкістю 3,5–6 мільйонів метричних тонн на рік [5].

Нафта, потрапляючи до морського середовища, утворює тонку плівку на великій площі. Процес її розтікання залежить від її хімічного складу, а також від погодних умов навколишнього середовища. Найбільша концентрація нафти зосереджена на глибині до двох метрів, а на поверхні залишається плівка. У разі емульгування нафта піддається біохімічному і фотохімічному розпаду. Біорозпад нафти відбувається під впливом вуглеводноокислюючих мікроорганізмів. В океані було знайдено близько 200 видів бактерій, дріжджів і цвілевих грибів, здатних окисляти сполуки нафти. Встановлено, що всі вуглеводні, що присутні в нафті, схильні до біохімічного та фотохімічного розпаду. Фотохімічний розпад нафти здійснюється під впливом ультрафіолетового сонячного випромінювання. Більш інтенсивно окислюються легкі фракції нафти (бензин, гас). Важкі фракції розкладаються дуже повільно. Поступово їх в'язкість підвищується, зважені у воді частинки об'єднуються у більш великі фракції і утворюють темні грудочки, схожі на загуслий мазут. Їх називають «нафтовими агрегатами». Темні грудочки мазуту падають на дно, а іноді морські хвилі викидають їх у прибережну зону. Температура води є лімітуючим фактором під час розпаду нафти у морі. За температури 40 °С біорозпад нафти припиняється. За більш високої температури обсяг біорозпаду не перевищує 1–10 мг/м<sup>3</sup> на добу. В середньому мікроорганізми розкладають близько 25–30% розливої нафти. Однак процес біорозпаду нафти у морській воді здійснюється повільно. Для повного розкладання тисяч тонн нафти потрібен тривалий період. Під час ліквідації розливів нафти ніколи повністю не можна покладатися тільки на біорозпад. Процес фотохімічного окислення відбувається за участю сонячного світла і за наявності оксигена.

Швидкість фотохімічного окислення не перевищує 10–50% швидкості біохімічного. За відсутності світла фотохімічне окислення здійснюється дуже повільно. Інтенсивність світла різко знижується відповідно до глибини. Окислення нафтопродуктів спостерігається на поверхні морського середовища. Прискорення процесів біорозпаду нафти у Світовому океані стає можливим за умови культивування вуглеводноокислюючих мікроорганізмів у лабораторних умовах з подальшою їх інтродукцією в екосистеми Світового океану [6].

**Мета статті** – визначення ключових напрямів досліджень вуглеводноокислюючих мікроорганізмів, що окислюють вуглець, з метою прискорення біорозпаду нафти в Світовому океані. Аналіз можливості культивування мікроорганізмів, що окислюють вуглець та синтезують біосурфактанти в нафтовому шламі морських суден визначив можливість інтродукції отриманої культури – мікробіоти, що окислює вуглець з метою ремедіації нафтового забруднення Світового океану.

**Виклад основного матеріалу.** Під час ліквідації наслідків розливу нафти і нафтопродуктів очищення водних об'єктів є одним з найбільш складних і трудомістких завдань. Забруднення нафтою і нафтопродуктами пов'язане з динамічністю водного середовища і складністю процесів трансформації вуглеводнів у ній. Служби з боротьби з розливами нафти і нафтопродуктів використовують такі методи: механічні, термічні, фізико-хімічні та біологічні [7]. Під час ліквідації розливів у гідросфері найбільш поширеним є механічний спосіб збору нафти. Однак така технологія не вирішує проблему повністю і після збору на поверхні залишається більше 30% нафти [8]. Термічний метод заснований на випалюванні нафти. Він застосовується у разі товщини шару не менше 3 мм і безпосередньо відразу після забруднення до утворення емульсії з водою. Фізико-хімічні методи ліквідації розливів нафти базуються на використанні реагентів-диспергентів і сорбентів. Диспергуючі засоби руйнують суцільну нафтову плівку і прискорюють процес дифузії нафти у водну товщу, відновлюють водо-, газо-, енергообмін з атмосферою, тим самим приводячи до посилення біодеградації. Однак більшість препаратів не здатна диспергувати дуже в'язкі нафтопродукти та стійкі емульсії. До того ж як диспергент використовуються різні ПАВ, більшість з яких є високотоксичними сполуками, і їх негативний вплив на морські організми іноді буває більш істотним, ніж вплив самої нафти [7]. Більшість застосовуваних на практиці технологій механічної та фізико-хімічної очистки

води від нафти і нафтопродуктів багатостадійні, трудомісткі, пов'язані з великими матеріальними витратами і не забезпечують повне видалення забруднювача з поверхні, не кажучи вже про вуглеводні, розчинені або емульговані у воді [8]. Провідне місце у процесі самоочищення гідросфери належить до біологічних факторів, серед яких вирішальну роль відіграють нафтоокислюючі мікроорганізми. В результаті їх життєдіяльності нафта трансформується у нові органічні сполуки. Відбувається накопичення нової органічної речовини і подальше включення її до колообігу вуглецю в гідросфері. Вуглеводні, що потрапляють у водні екосистеми, є джерелами вуглецю й енергії для вуглеводноокислюючих мікроорганізмів, тим самим сприяючи збільшенню їх чисельності за наявності сприятливих умов для зростання і розвитку. Своєю чергою мікроорганізми, використовувани для ліквідації нафтових розливів на воді, є їжею для планктону та інших організмів, що підтримує таким чином певні трофічні зв'язки. Серед вуглеводноокислюючих мікроорганізмів, які мешкають у морському середовищі, виявлені представники понад двадцяти родів бактерій, ціанобактерій, грибів та водоростей [9]. З донних відкладень озер, розташованих на території Сургутського, Нижньовартівського і Нефтеюганського районів Ханті-Мансійського автономного округу та Югри виділені 6 штамів р. *Streptomyces*, які мали високу деструктивну здатність (50–90%) стосовно нафти у концентраціях від 1 до 5% за температури 40°C [10]. Отримано дані про те, що бактерії р. *Alcanivorax* грають провідну роль у деградації лінійних вуглеводнів у забруднених сировою нафтою водних середовищах [11]. Цей висновок підтверджений у роботі Мапелло [12], де показано, що, крім бактерій *Oleispira antarctica*, основними мікроорганізмами, які здійснюють розкладання в морській воді н-алканів, є *Alcanivorax borkumensis* і *Alcanivorax dieselolei*. Досліджено біодеградацію вуглеводнів у морській воді за температури 50 °C у малих розмірах крапель нафти (9–11 мкм). Представники рр. *Colwellia*, *Oleispira* і род. *Oceanospirillaceae* трансформували н-алкани (C5–C36) більш ніж на 95% за 31 день, завдяки бактерії рр. *Cycloclasticus*, *Marinobacter* і род. *Alteromonadaceae* і *Flavobacteriaceae* зазнали деструкції ароматичні вуглеводні (включаючи ПАВ) більш ніж на 95% через 64 дні [13]. Мапелло у співавторстві [12] вказує, що деградація у морському середовищі ПАВ відбувається за допомогою *Cycloclasticus pugetii* і *Marinobacter hydrocarbonoclasticus*. Останні також окисляють

лінійні алкани. Мікроорганізми *Oceanisphaera litoralis*, *Pseudoalteromonas citrea*, *P. elyakovii*, виділені з морської води біля узбережжя о. Сахалін, розкладають бензинові фракції, нафту і моторне масло. Штам *P. citrea* виявився найбільш активним деструктором важких масляних фракцій [14]. Запропоновано спосіб очищення морської води від нафти й нафтопродуктів з використанням симбіозу водоростей та мікроорганізмів, що окислюють вуглець, використовуючи фільтр, що являє систему з'єднаних між собою синтетичних канатів, засаджених водоростями і заселених нафтоокислюючими мікроорганізмами [15]. Відомо, що у разі застосування асоціацій мікроорганізмів біодеградація нафти відбувається більш ефективно і у стисліші терміни, ніж у разі використання індивідуальних бактерій [16]. Важливим критерієм відбору мікроорганізмів для складання консорціуму була наявність катаболічних плазмідом. Бактерії, що містять плазмиди біодеградації, мають низку переваг у складі біопрепаратів для біоремедіації. Перш за все плазмідомісткі штами володіють розширеним спектром утилізованих вуглеводнів нафти. Водночас інтродукція мікроорганізмів – ефективних деструкторів нафти може значно збільшити деградативний потенціал аборигенної мікрофлори, позаяк у разі взаємодії бактерій у навколишньому середовищі відбувається обмін генетичною інформацією. Розроблено ефективну асоціацію плазмідомістких мікроорганізмів-деструкторів вуглеводнів нафти «ВіО». Штами утворюють асоціацію, є продуцентами біосурфактантів, що знижують в'язкість нафти та підвищують її біодоступність і здатні до деградації високих концентрацій нафти (до 30%) у широких діапазонах температур (4–42 °C) і рН (4–10) [17].

З метою зменшення забруднення морського середовища нафтою і нафтопродуктами під час експлуатації водного транспорту нафтомісткі води фільтруються і відокремлюються від нафти. Нафтовий шлам, що утворився, зазвичай становить до 2% від загальної кількості використаного палива. Для зберігання нафтового шламу на судні призначені спеціальні ємності – танки. Шлам накопичується в танках з подальшим його спалюванням в інсинераторі або здачею в порту з подальшою утилізацією. Якщо припустити, що судно в середньому за рік спалює близько 20000 тонн палива, то на судні в середньому за рік накопичується 4000 тонн нафтового шламу. У Світовому океані в активному стані знаходяться в середньому 550000 суден. На них за рік утворю-

ється понад два мільярди тонн шламу, який вимагає утилізації. У результаті його спалювання викидається в атмосферу понад шість мільярдів тонн діоксиду карбону. На наш погляд, можлива реконструкція танків для зберігання шламу з метою розмноження в них вуглеводноокислюючої мікробіоти. Звичайні танки повинні бути замінені або доповнені нафтошлямовими установками, в яких передбачена нейтралізація шламу культурою вуглеводноокислюючих мікроорганізмів. При цьому необхідно звернути увагу на хімічний склад шламу, який складається із залишків палива. У зв'язку з вимогами щодо зменшення концентрації сульфору багатосуднові компанії використовують низькосіркове дизельне паливо. До палива, яке використовують в інертсистемах, у парових котлах і за наявності скрубєрів, не висунуто вимог щодо обмеження максимально допустимої концентрації сульфору в паливі. У таких випадках використовується мазут. Мазут є сумішшю великої кількості різних компонентів, серед яких є деякі органічні сполуки, нафтові смоли, карб, вуглеводні з молекулярною масою 400–1000 г/моль. Під час розробки суднової нафтошлямової установки необхідно враховувати різноманітність хімічного складу шламу. У разі інтродукції мікробіоти до нафтошлямової установки обов'язково враховується максимально допустима концентрація шламу. Технологічний процес повинен забезпечити оптимальну кислотність середовища. Необхідно враховувати абсолютну аеробність мікроорганізмів, що окислюють вуглець. Отриману біомасу мікробіоти можна використовувати для біоремедіації Світового океану. У танках, в яких накопичується нафтовий шлам, також можливе розмноження мікроорганізмів, які синтезують біосурфактанти. Основною причиною, яка ускладнює мікробіологічне розкладання нафтопродуктів, є гідрофобність молекул вуглеводнів, що призводить як до їх сорбції на різних поверхнях і переходу в біологічно важкодоступну форму, так і до неможливості ефективного контакту з мікробними клітинами, що мають, як правило, гідрофільну зовнішню оболонку. Усунути цю перешкоду здатні біосурфактанти – різноманітні поверхнево-активні речовини, що синтезуються мікроорганізмами. Механізм їх дії пов'язаний з процесами десорбції органічних забруднювачів та їх переведенням у водну фазу і, як наслідок, підвищенням їх біодоступності для мікроорганізмів, а також з модифікацією зовнішньої поверхні бактерій шляхом гідрофобізації для забезпечення кращого контакту з молекулами

вуглеводнів [18]. Загальноприйнята точка зору на роль ПАР полягає в зростанні мікроорганізмів на вуглеводнях. Гідрофобні молекули акумулюються на вуглеводно-водній, повітряно-водній поверхнях, повітряній частині рослин з їх гідрофобним шаром воску, хітиновому скелеті членистоногих, вугіллі, дьогті, ґрунті, донних відкладеннях, що є привабливим джерелом харчування поверхнево-активних бактерій. Мікробіоти стають ідеальними молекулами та сприяють збільшенню взаємодії з цими природними поверхнями. У зв'язку з цим багатообіцяючим є використання поверхнево-активних продуцентів для зменшення в'язкості важких масел, видалення сірки з нафти, збільшення лігроїна з бітумінозних сланців та пісків. Можна отримати велику кількість різних продуктів (нуклеїнові кислоти, пігменти, полісахариди, амінокислоти) з дешевої вуглеводневої сировини. Загальна несприятлива обстановка, пов'язана із забрудненням водних ресурсів промисловими і стічними водами, пролитою на землю і воду нафтою, гнітючий стан портів і заток роблять необхідним пошук мікроорганізмів, що ростуть на вуглеводнях. Підвищена чутливість мікроорганізмів до таких субстратів може дозволити виділити біосурфактанти з поліпшеними поверхнево-активними характеристиками і використовувати їх як антизабруднювачі та природні антиадгезиви на поверхнях, схильних до дії води (обростання

днищ судів). Тому важко переоцінити екологічні проблеми, які пов'язані з поверхнево-активними штамами. Безперервне зростання кількості наукових публікацій у галузі мікробної взаємодії з поверхнями підтверджує величезний інтерес до цієї проблеми в таких країнах, як Японія, Німеччина, Франція, США.

**Висновки.** Нафтове забруднення Світового океану є актуальною екологічною проблемою. Нафта негативно впливає на біорізноманіття екосистем Світового океану. Аналізували можливості біодеградації нафти в морському середовищі за допомогою мікроорганізмів, що окислюють вуглець. Найбільш оптимальний варіант інтродукції мікробіоти, що окислює вуглець, є консорціуми, до складу яких входять мікроорганізми, що окислюють вуглець та мікроорганізми, що синтезують біосурфактанти. На морських судах накопичується нафтовий шлам у результаті сепарації нафтовмісних вод. У процесі його зберігання можливе культивування біомаси мікроорганізмів, що окислюють вуглець, а також може бути синтез біосурфактантів. З цією метою необхідно розробити конструкції нафтошлямової установки, що працюватиме на основі біодеструкції нафти мікроорганізмами, що окислюють вуглець. Також необхідно розробити технологію синтезу біомаси мікроорганізмів, що окислюють вуглець у виробничих масштабах.

#### Список літератури:

1. Bill Freedman. Oil pollution Environmental Ecology (Second Edition), 1995. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/oil-pollution>.
2. By Ismail M.K. Saadoun Impact of Oil Spills on Marine Life Submitted: October 7th 2014. Reviewed: February 26th 2015. Published: September 2nd 2013. DOI: 10.5772/60455.
3. Торский В.Г., Топалов В.П. МАРИПОЛ 73/78. Одесса : «Астропринт». С. 15–16.
4. Prince William Sound oil spill. URL: [https://en.m.wikipedia.org/wiki/Exxon\\_Va](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Exxon_Va).
5. Oil Tanker Spill Statistics 2019. URL: <http://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/statistics/>.
6. Life Ismail M.K. Saadoun (September 2nd 2015). Impact of Oil Spills on Marine Life, Emerging Pollutants in the Environment – Current and Further Implications, Marcelo L. Larramendy and Sonia Soloneski, IntechOpen, DOI: 10.5772/60455. URL: <https://www.intechopen.com/books/emerging-pollutants-in-the-environment-current-and-further-implications/impact-of-oil-spills-on-marine-life>.
7. Hoang, A.T. A report of oil spill recovery technologies. *International Journal of Applied Engineering Research*. ISSN 0973-4562. Volume 13, Number 7. 2018. Pp. 4915–4928.
8. Долгополова В.Л. Способы очистки морских акваторий от нефтяных загрязнений / В.Л. Долгополова, О.В. Патрушева. *Молодой ученый*. 2016. № 29 (133). С. 229–234. URL: <https://moluch.ru/archive/133/37456/> (дата звернення: 27.07.2020).
9. Гоголева О.А. Каталазная активность углеводородоксилирующих бактерий : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.03. Оренбург, 2012. 147 с.
10. Коваленко В.В. Изоляты актиномицетов деструкторов нефтяных углеводородов / В.В. Коваленко, А.И. Фахрутдинов, Т.Д. Ямпольская. *Прорывные научные исследования как двигатель науки* : сб. статей междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 2. Уфа: АЭТЕРНА, 2018. С. 35–39.
11. Santisi S. Biodegradation of crude oil by individual bacterial strains and a mixed bacterial consortium / S. Santisi, S. Cappello, M. Catalfamo et al. *Braz. J. Microbiol.* 2015. V. 46, No. 2. Pp. 377–387.
12. Mapelli F. Biotechnologies for marine oil spill cleanup: indissoluble ties with microorganisms / F. Mapelli, A. Scoma, G. Michoud et al. *Trends Biotechnol.* 2017. V. 35, No. 9. Pp. 860–870.

13. Brakstad O.G. Microbial communities related to biodegradation of dispersed Macondo oil at low seawater temperature with Norwegian coastal seawater / O.G. Brakstad, M. Throne-Holst, R. Netzer et al. *Microbiol. Biotechnol.* 2015. V. 8, No. 6. Pp. 989–998.

14. Струппуль Н.Э. Исследование нефтеокисляющей способности морских микроорганизмов *Pseudoalteromonas citrea*, *Pseudoalteromonas elyakovii* и *Oceanisphaera litoralis* / Н.Э. Струппуль, Е.А. Сигида, Н.Н. Трофименко и др. *Нефтегазовое дело*. 2009. № 2. URL: [http://ogbus.ru/authors/Struppul/Struppul\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/Struppul/Struppul_1.pdf).

15. Нетрусов А.М. Способ очистки воды от нефти и нефтепродуктов / А.М. Нетрусов, А.И. Семенов, Е.В. Семенова и др. Патент РФ № 2412913. Заявл. 25.12.2008. Опубл. 27.02.2011. Бюл. № 6.

16. Сидоренко О.Д., Войно Л.И., Павликова Т.А. Влияние нефти на микрофлору почв и подбор ассоциации микроорганизмов, способных к ее деструкции. *Качество и безопасность продовольственного сырья и продуктов питания* : сб. статей 256-й Всероссийской научно-технической конференции-выставки. Москва : Изд-во МГУП, 2002. С.176–178.

17. Ветрова А.А. Сравнительная эффективность деградации нефтепродуктов консорциумом плазмидо-содержащих штаммов-деструкторов и биопрепаратами «МикроБак», «Биоойл» / А.А. Ветрова, А.А. Иванова, А.Е. Филонов и др. *Известия Тульского гос. ун-та. Естеств. науки*. 2013а. Вып. 2, ч. 1. С. 258–272.

18. Mao X. Use of surfactants for the remediation of contaminated soils: a review / X. Mao, R. Jiang, W. Xiao, J.J. Yu. *Hazard. Mater.* 2015. V. 285. Pp. 419–435.

### **Kirsanova V.V., Bykovets N.P., Chumachenko M.N., Brazhnik I.D. SHIP OIL SLUDGE AS AN ELEMENT OF BIODEGRADATION OF OIL POLLUTION OF THE WORLD OCEAN**

*The pollution of the oceans with oil and oil products is a dangerous environmental problem. Oil spills are registered during offshore oil production and processing, during the operation of water transport. Part of the oil pollution gets into the marine environment with industrial and municipal wastewaters, as well as with river flows.*

*Petroleum hydrocarbons are toxic to all living organisms and have a negative effect on trophic connections and the circulation of substances. They have a negative affect the biodiversity of the ecosystems of the World Ocean and cause them great damage. We pointed to the prospects of bioremediation of the marine environment in the process of biodegradation of oil with the help of carbon-oxidizing microorganisms and analyzed the features of their strains. Bacteria containing biodegradation plasmids have an extended spectrum of utilized petroleum hydrocarbons.*

*We paid attention to the need of creation consortia of strains of carbon-oxidizing microorganisms, which include carbon-oxidizing microorganisms and microorganisms that synthesize biosurfactants. Oil sludge accumulates on ships as a result of the separation of oily waters. In the process of its storage, it is possible to cultivate the biomass of carbon-oxidizing microorganisms, as well as to synthesize biosurfactants.*

*For this purpose, it is necessary to develop the design of a ship's oil sludge plant which is operating on the basis of oil biodegradation by carbon-oxidizing microorganisms. It is necessary to pay attention to the chemical composition of the sludge, which consists of fuel residues. It is also necessary to develop a technology for the synthesis of biomass of carbon-oxidizing microorganisms in production scales. When introducing microbiota into an oil sludge plant, the maximum permissible concentration of sludge must be taken into account. The technological process must ensure the optimum acidity of the medium. It is necessary to take into account the absolute aerobicity of carbon-oxidizing microorganisms. The obtained biomass of the microbiota can be used for bioremediation of the World Ocean. In tanks in which oil sludge accumulates, it is also possible the reproduction of microorganisms which synthesize biosurfactants.*

**Key words:** oil, oil pollution, hydrocarbon-oxidizing microorganisms, oil sludge, biosurfactants.