



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **120211** (13) **U**
(51) МПК (2017.01)
C10L 9/00
C12P 1/04 (2006.01)
C22B 41/00

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2017 04187	(72) Винахідник(и): Блайда Ірина Андріївна (UA), Васильєва Тетяна Володимирівна (UA), Слюсаренко Лариса Іванівна (UA), Баранов Володимир Іванович (UA), Джамбек Ольга Іванівна (UA), Шулякова Світлана Миколаївна (UA)
(22) Дата подання заявки: 27.04.2017	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.10.2017	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.10.2017, Бюл.№ 20	(73) Власник(и): ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І.І. МЕЧНИКОВА, вул. Дворянська, 2, м. Одеса, 65082 (UA)

(54) СПОСІБ ДЕПІРИТИЗАЦІЇ ВУГІЛЛЯ З ВИЛУЧЕННЯМ ГЕРМАНІЮ

(57) Реферат:

Спосіб депіритизації вугілля з вилученням германію полягає в використанні окислювальної активності змішаної культури мікроорганізмів аборигенної мікробіоти, що включає стадію обробки вугілля поживним середовищем 9K складу, г/дм³: (NH₄)₂SO₄ - 3,0; Ca(NO₃)₂ - 0,01; MgSO₄·7H₂O - 0,5; K₂HPO₄ - 0,5; KCl - 0,1; при співвідношенні Т:Р=1:10; рН 1,8-2,2. При цьому до поживного середовища 9K додають FeSO₄·7H₂O у кількості 9,0 г/дм³, обробку проводять при температурі 28-32 °С протягом 7 діб, а після цього проводять другу стадію обробки вугілля поживним середовищем складу, г/дм³: пептон - 10,0; дріжджовий екстракт - 5,0; глюкоза - 5,0; K₂HPO₄ - 1,5; MgSO₄·7H₂O - 3,0; при Т:Р=1:10, рН 6,8-7,2, температурі 28-32 °С, протягом 7 діб.

UA 120211 U

Корисна модель належить до біотехнології, екології, комплексного використання ресурсів паливно-енергетичного комплексу (ПЕК), а саме, до способів депіритизації (видалення піритної сірки) виковного вугілля з вилученням германію за допомогою мікроорганізмів власної мікробіоти вугілля. Корисна модель може знайти застосування на підприємствах ПЕК, зокрема,

5 тих, що орієнтовані на видобуток і збагачення енергетичного вугілля.

Важливою характеристикою енергетичного вугілля є вміст найбільш шкідливої домішки - загальної сірки, яка до 60 % є піритною, оскільки входить до складу FeS_2 . Зменшення кількості сірки у вугіллі збільшує його якість, теплові характеристики і, відповідно, вартість, а також знижує викиди токсичних сполук сірки в атмосферу в процесі його спалювання. Крім того,

10 виковне вугілля в усьому світі є основним джерелом отримання стратегічно важливого рідкісного металу германію, для чого розробляються спеціальні способи спалювання і трудомісткі екологічно небезпечні технології. Тому необхідність зменшення вмісту сірки в кам'яному вугіллі а також комплексне використання вугілля, як сировини для вилучення германію - це актуальна економічно і соціально значима проблема, яка останнім часом

15 привертає увагу вітчизняних та зарубіжних вчених. Біотехнологічні методи обробки будь-якої сировини, зокрема вугілля, є найбільш перспективними, оскільки є екологічно безпечними, енерго- та ресурсозберігаючими, високо ефективними. Привабливим є те, що при цьому можна направлено використовувати окислювальну активність власного співтовариства мікроорганізмів, яке сформувалось в даній досліджуваній біокоосній системі, зокрема, вугіллі. Слід зазначити, що

20 коли мова йде про видалення переважно піритної сірки, то основна увага дослідників приділяється групі ацидофільних хемолітотрофних бактерій (АХБ) - представники родів *Sulfobacillus*, *Acidithiobacillus*, що використовують як джерело енергії для своєї життєдіяльності двовалентне залізо, сірку та її сполуки. Дані по обробці виковного вугілля, зокрема мікробіологічній, для його депіритизації і попутного вилучення германію в світовій та вітчизняній

25 літературі відсутні. Більшість пропонованих технологічних розробок ставлять перед собою задачу або тільки зниження кількості сірки у вугіллі, або розробку способу спалювання вугілля для отримання найбільш концентрованих по германію продуктів (золото-уносів і золото-шлаків) для подальшого вилучення металу.

Досягнутий рівень технології депіритизації вугілля і вилучення германію мікробіологічними методами характеризується наступними прикладами.

Відомо багато способів депіритизації (десульфуризації) вугілля родовищ Китаю, США, Туреччини, Індонезії, Південної Кореї з використанням чистих або змішаних культур *Sulfobacillus*, *Acidithiobacillus*, зокрема *A.ferrooxidans*, які є аборигенними, виділеними з кислих шахтних вод вугільних родовищ, без адаптації або з тривалою адаптацією до нового вугільного субстрату, які потребують проведення додаткових операцій подрібнення вугілля, отримання

35 бактеріальної суспензії, забезпечення перемішування і аерації, тривалості процесу, іноді підвищених температур та інших особливостей здійснення. Це і є їх недоліками, однак головними недоліками є не дуже високі показники по зниженню загальної сірки в вугіллі (хоча дані по видаленню піритної сірки досягають 90-95 %, в перерахунку на загальну сірку показник не перевищує 70 %), та відсутність даних про попутне вилучення з вугілля германію.

Відомий спосіб [Пат. US 4206288, опубл. 03.06.1980], згідно з яким вугілля США з вмістом сірки піритної 0,5-4,0 %, подрібнюють до розміру часток 200 меш. Проводять процес з використанням культури *Thiobacillusferrooxidans*, яку висівають на вугільну пульпу з початковою концентрацією мікроорганізмів $2 \cdot 10^{12}$ - $2 \cdot 10^{13}$ клітин на грам піриту, вугільна суспензія з

45 мікроорганізмами і рідкою фазою вміщує вугілля від 2,5 до 40 %, рН суспензії 1,5-6,0. Температура підтримується від 10 до 35 °С, процес ведуть при аерації повітрям, киснем або CO_2 протягом 12-30 діб. У результаті видаляється 90-95 % піритної сірки (30-40 % від загальної сірки). Недоліками способу є використання чистої культури мікроорганізмів, що потребує попереднього виділення та періодичного пересіву для підтримки їх життєдіяльності, необхідність подрібнення вугілля і забезпечення аерації, що ускладнює технологію в цілому. Основним недоліком способу є десульфуризація вугілля тільки за рахунок видалення піритної сірки (що позначається на не дуже високих показниках по загальній сірці) та відсутність даних про вилучення з вугілля германію.

Відомий спосіб [Пат. US 4456688, опубл. 26.06.1984], згідно з яким вугілля у кількості 10,0 об. % і кислі дренажні води використовують для отримання накопичувальній культури мікроорганізмів власної мікробіоти при рН 3,0, перемішуванні (200 об./хв.), температурі $23,0 \pm 2,0$ °С протягом чотирьох тижнів. Отриману суспензію стерилізують у автоклаві. Окремо готують модифіковане середовище 9К, до складу якого також входять кислі дренажні води. Це середовище використовують для культивування специфічного штаму *Thiobacillus ferrooxidans*

60 при рН 3,0 і температурі $23,0 \pm 2,0$ °С. Після п'яти днів культивування клітини збирають,

суспензію зберігають у розчині H_2SO_4 при pH 3,0 і використовують протягом тижня. Отриману суспензію специфічного *Thiobacillus ferrooxidans* додають до стерильної накопичувальної культури. Автори вважають, що продукти життєдіяльності і метаболізму ацидофільних хемолітотрофних та толерантних до кислоти гетеротрофних бактерій слугуватимуть джерелом живильних речовин для *Thiobacillus ferrooxidans* у процесі десульфуризації вугілля. Самий процес десульфуризації проводять при щільності вугільної пульпи від 30,0 до 50,0 %. Зниження вмісту загальної сірки досягається 34,78-56,21 %, піритної - від 54,83 до 80,65 % і органічної - 14,28 %. Недоліками способу є його тривалість і складність, яка полягає у багатостадійності, необхідності окремо отримувати стерилізовану накопичувальну культуру, приготування модифікованого середовища 9К та культивування з його використанням специфічного *Thiobacillus ferrooxidans*. Найбільш суттєвими недоліками є низький ступінь десульфуризації та відсутність попутного вилучення германію. Відомий спосіб вилучення германію з відходів збагачення та спалювання енергетичного вугілля за допомогою мікроорганізмів власної мікробіоти [Пат. 102926 UA, опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16], однак він стосується тільки вилучення цінного металу з відвальної сировини ПЕК, яка по своєму складу і властивостям принципово відрізняється від викопного енергетичного вугілля, депіритизація якого не була задачею цього способу.

Найбільш близьким аналогом є спосіб по "Studies on the effect of coal particle size on biodepyritization of high sulfur coal in batch bioreactor" [S. Singh, H. Srichandan, A. Pathak, Ch. S. Gahan, S. Lee, D. Kim, B. Kim // Polish Journal of Chemical Technology. 2015. - 17, 1. - P. 97-102], згідно з яким Іллінойське вугілля з розміром часток 100-200 мкм, вмістом піритної сірки та загального заліза 5,66 % і 4,77 % відповідно, поміщають у біореактор загальним об'ємом $2,5 \text{ м}^3$ і робочим $1,0 \text{ м}^3$ у кількості 10,0 об. %, додають $0,9 \text{ м}^3$ середовища 9К (склад, г/дм³: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -3,0; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -0,01; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 0,5; K_2HPO_4 -0,5; KCl -0,1) і $0,1 \text{ м}^3$ змішаної культури помірно термофільних сірко- та залізоокислюючих бактерій, що ізолювано з кислих дренажних вод шахт Південної Кореї. Бактеріальну суспензію, що використовують для знесірчення вугілля, отримують окремо у біореакторі з загальним об'ємом $1,5 \text{ м}^3$ з 1 м^3 середовища 9К з $4,5 \text{ г/дм}^3$ $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ і 2 мМ тетрагідрату калію при pH 1,5, температурі $45,0^\circ\text{C}$ при перемішуванні (280,0 об/хв) і постійній аерації (швидкість потоку кисню $1,0 \text{ м/хв.}$). Процес проводять за наступними умовами: температура у біореакторі $45,0^\circ\text{C}$, pH на рівні 1,5 підтримується протягом усього дослідження шляхом додавання 2М H_2SO_4 до постійних значень, перемішування при 280 об./хв. і аерації, тривалість 30 днів. Після обробки Іллінойського вугілля змішаною культурою помірно термофільних сірко- і залізоокислюючих бактерій окиснення іприту і видалення піритної сірки складало 75,6 % і 65,9 %, відповідно. Основними недоліками цього процесу є його тривалість (30 діб); підвищена температура процесу ($45,0^\circ\text{C}$); постійне забезпечення перемішування та аерації; необхідність отримання фракції вугілля з розміром часток 100-200 мкм; а також необхідність окремого отримання бактеріальної суспензії. Найбільш суттєвим недоліком способу є відсутність даних про вилучення германію і досягнення не дуже високого ступеня депіритизації - видалення піритної сірки, якої в Іллінойському вугіллі в силу специфічного складу міститься значно більше, ніж важко видалюваної органічної сірки.

Задачею, на вирішення якої спрямована корисна модель, є розробка біотехнологічного методу обробки енергетичного вугілля на стадії його збагачення шляхом використання окислювальних властивостей власної (аборигенної) мікробіоти, який відбувався би при нормальній температурі, не вимагав би додаткової операції подрібнення вугілля, був би ресурсо- і енергозберігаючим та спрощеним за рахунок більш короткого часу проведення, відсутності підігріву, перемішування і забезпечення аерації, та, головне, забезпечував високий ступінь зменшення кількості загальної сірки в вугіллі (як піритної, так і органічної) поряд з попутним вилученням з вугілля цінного рідкісного металу германію з високими показниками.

Поставлена задача вирішується способом депіритизації вугілля з попутним вилученням германію, який полягає в використанні окислювальної активності змішаної культури мікроорганізмів аборигенної мікробіоти, що включає стадію обробки вугілля поживним середовищем 9К складу, г/дм³: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -3,0; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -0,01; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -0,5; K_2HPO_4 -0,5; KCl -0,1; при співвідношенні Т:Р=1:10; pH 1,8-2,2, в якому, згідно з корисною моделлю, до поживного середовища 9К додають $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ у кількості $9,0 \text{ г/дм}^3$, обробку проводять при температурі $28-32^\circ\text{C}$ протягом 7 діб, а після цього проводять другу стадію обробки вугілля поживним середовищем складу, г/дм: пептон - 10,0; дріжджовий екстракт - 5,0; глюкоза - 5,0; K_2HPO_4 -1,5; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - 3,0; при Т:Р=1:10, pH 6,8-7,2, температурі $28-32^\circ\text{C}$, протягом 7 діб.

Перша стадія завдяки створеним умовам забезпечує ріст до 10^8 - 10^9 кл/дм³ мезофільних ацидофільних хемолітотрофних бактерій власної мікробіоти вугілля, зокрема представників *Acidithiobacillus ferrooxidans*, і їх високу активність при бактеріально-хімічному окисненні іприту в

вугіллі. Це призводить до руйнування стійких кристалічних мінеральних фаз вихідного вугілля, що супроводжується видаленням до 95 % піритної сірки і вилученням до 75 % германію з мінеральної складової вугілля. Друга стадія обробки вугілля забезпечує ріст гетеротрофних мікроорганізмів власної мікробіоти вугілля, зокрема представників родів *Pseudomonas*, *Desulfovibrio*, *Sulfolobus*, до 10^{10} - 10^{11} кл/дм³, завдяки залишку від першої стадії мікробних метаболітів та заліза, яке необхідне як мікроелемент для життєдіяльності цієї групи мікроорганізмів. Гетеротрофні мікроорганізми мають ферментні системи, що руйнують органічні ароматичні гетероциклічні сполуки вугілля з C-S-зв'язком, які частково втратили свою силу під бактеріально-хімічним впливом на першій стадії обробки, і використовують їх як джерело сірки і вуглецю для зростання і життєдіяльності. Це дозволяє додатково видалити з вугілля до 30 % органічної сірки. У результаті двостадійної обробки вугілля Львівсько-Волинського вугільного басейну, який характеризується вмістом 2,42-2,56 % піритної сірки та 0,97-1,03 % органічної сірки, відбувається депіритизація (десульфуризація) вугілля на 73,1-75,7 % по загальній сірці (по піритній і органічній сірці на 90,0-93,7 % і 30,9-31,0 % відповідно), з попутним вилученням 73-75 % германію.

Ознаками, що збігаються з аналогом, є використання окислювальної активності змішаної культури мікроорганізмів аборигенної мікробіоти, що включає стадію обробки вугілля поживним середовищем 9К складу, г/дм³: (NH₄)₂SO₄-3,0; Ca(NO₃)₂-0,01; MgSO₄·7H₂O - 0,5; K₂HPO₄-0,5; KCl-0,1; при співвідношенні T:P=1:10; pH 1,8-2,2.

Ознаками, що відрізняє запропонований спосіб від аналогу, є те, що до поживного середовища 9К додають FeSO₄·7H₂O у кількості 9,0 г/дм³, обробку проводять при температурі 28-32 °C протягом 7 діб, а після цього проводять другу стадію обробки вугілля поживним середовищем складу, г/дм³: пептон -10,0; дріжджовий екстракт - 5,0; глюкоза - 5,0; K₂HPO₄-1,5; MgSO₄·7H₂O - 3,0; при T:P=1:10, pH 6,8-7,2, температурі 28-32 °C, протягом 7 діб. Це забезпечує ріст представників мезофільних ацидофільних хемолітотрофних бактерій аборигенної мікробіоти, зокрема *Acidithiobacillus ferrooxidans*, використання ними сірки і заліза піриту як джерела енергії для своєї життєдіяльності і, відповідно, руйнування стійких кристалічних мінеральних фаз вихідного вугілля, що в подальшому (на другій стадії) дозволяє забезпечити зростання гетеротрофних мікроорганізмів власної мікробіоти вугілля, зокрема представників родів *Pseudomonas*, *Desulfovibrio*, *Sulfolobus*, і як результат їх життєдіяльності - руйнування органічних сполук вугілля з C-S-зв'язком, які виступають для гетеротрофів джерелом сірки і вуглецю. Це забезпечує десульфуризацію вугілля на 73,1-75,7 % по загальній сірці (по піритній і органічній сірці на 90,0-93,7 % і 30,9-31,0 % відповідно) з попутним вилученням 73-75 % германію.

Процес здійснюється наступним чином.

Викопне вугілля з частками будь-якого розміру, без додаткового подрібнення помішають у біореактор. Підготовлене поживне середовище 9К складу, г/дм³: (NH₄)₂SO₄-3,0; KCl-0,1; K₂HPO₄-0,5; MgSO₄·7H₂O - 0,5; Ca(NO₃)₂-0,01 з доданням до нього FeSO₄·7H₂O у кількості 9,0 г/дм³ додають у той же біореактор. Співвідношення твердої (вугілля) і рідкої (поживного середовища) фаз повинно бути таким, щоб підтримувався показник T:P=1:10. Значення pH в біореакторі доводять до 1,8-2,2 шляхом додавання 0,1 N розчину NaOH. Процес проводять при температурі 28,0-32,0 °C у стаціонарному режимі без перемішування і додаткової аерації протягом 7 діб.

Через 7 діб з біореактору зливають 2/3 середовища 9К з залізом та додають рівний об'єм поживного середовища, що придатне для культивування гетеротрофних бактерій, зокрема представників родів *Pseudomonas*, *Desulfovibrio*, *Sulfolobus*, складу, г/дм: пептон - 10,0; дріжджовий екстракт - 5,0; глюкоза 5,0; K₂HPO₄ 1,5; MgSO₄·7H₂O - 3,0. Значення pH в біореакторі доводять до 6,8-7,2 додаванням 0,1 N розчину NaOH. Процес проводять у тому же біореакторі при температурі 28,0-32,0 °C у стаціонарному режимі без перемішування і додаткової аерації протягом 7 діб. Через сім діб розділяють тверду (вугілля після обробки) і рідку фазу. У розчині визначають концентрацію германію, у вугіллі - остаточний вміст піритної і органічної сірки, а також германію. Після першої і другої стадії процесу контролюють кількість і склад біомаси, яка утворюється як результат розвитку і росту мікроорганізмів власної мікробіоти вугілля.

У результаті відбувається депіритизація (десульфуризація) вугілля на 73,1-75,7 % по загальній сірці (по піритній і органічній сірці на 90,0-93,7 % і 30,9-31,0 % відповідно) з попутним вилученням 73-75 % германію. Слід зазначити, що чим більше піритної сірки у вихідному вугіллі, тим більше ефективність загальної десульфуризації.

Приклали здійснення запропонованого способу.

Приклад 1.

1. Для депіритизації використовували викопне несортване вугілля Львівсько-Волинського вугільного басейну з вмістом піритної і органічної сірки 2,42 % і 0,97 %, відповідно, германію - 20,0 г/т, фракція з розміром часток 7,0-10,0 мм.

2. Як розчин для депіритизації і попутного вилучення германію вугілля на першій стадії використовували стандартне середовище для ацидофільних хемолітотрофних бактерій 9К складу, г/дм³: (NH₄)₂SO₄-3,0; Ca(NO₃)₂-0,01; MgSO₄·7H₂O - 0,5; K₂HPO₄-0,5; KCl-0,1; до якого додавали FeSO₄·7H₂O - 9,0 г/дм³.

3. Процес здійснювали в біореакторі, до якого вносили 100,0 г вугілля і 1 дм³ середовища 9К (для підтримання співвідношенні Т:Р=1:10), значення рН доводили до 1,8-2,2 шляхом додавання 0,1 N розчину H₂SO₄.

4. Процес здійснювали при температурі 28,0-32,0 °С у стаціонарному режимі без перемішування і додаткової аерації протягом 7 діб.

5. Кількість біомаси на першій стадії процесу досягала 10⁸-10⁹ кл/дм³ і була представлена (на підставі мікробіологічних досліджень) мезофільними ацидофільними хемолітотрофними бактеріями, зокрема *Acidithiobacillus ferrooxidans*,

6. Через 7 діб з біореактору зливали 2/3 об'єму середовища 9К і додавали такий же об'єм середовища для гетеротрофних бактерій наступного складу, г/дм³: пептон - 10,0; дріжджовий екстракт - 5,0; глюкоза - 5,0; K₂HPO₄-1,5; MgSO₄·7H₂O - 3,0; рН доводили до 6,8-7,2 додаванням 0,1 N розчину NaOH.

7. Процес проводили у тому же біореакторі при температурі 28,0-32,0 °С у стаціонарному режимі без перемішування і додаткової аерації протягом 7 діб.

8. Кількість біомаси на другій стадії процесу досягала 10¹⁰-10¹¹ кл/дм³ і була представлена (на підставі мікробіологічних досліджень) гетеротрофними мікроорганізмами, зокрема представниками родів *Pseudomonas*, *Desulfovibrio*, *Sulfolobus*.

9. Через сім діб розділяли тверду (вугілля після обробки) і рідку фазу. У розчині визначали концентрацію германію, у вугіллі - остаточний вміст піритної і органічної сірки, а також германію. Хімічний аналіз показав, що завдяки умовам проведення двостадійного процесу депіритизації з попутним вилученням германію у обробленому вугіллі реєстрували зниження піритної і органічної сірки до 0,24 % і 0,67 % відповідно, германію - до 5,4 г/т. Ці показники відповідали загальній десульфуризації вугілля на 73,1 % (по піритній і органічній сірки на 90,0 % і 30,9 % відповідно), попутному вилученню германію на 73 %.

Приклад 2.

1. Для депіритизації використовували викопне несортване вугілля Львівсько-Волинського вугільного басейну з вмістом піритної і органічної сірки 2,56 % і 1,03 %, відповідно, германію - 20,0 г/т, фракція з розміром часток менш 2,0 мм.

2. Умови здійснення процесу аналогічні в пп. 2-8 Прикладу 1.

Хімічний аналіз показав, що завдяки умовам проведення двостадійного процесу депіритизації з попутним вилученням германію у обробленому вугіллі реєстрували зниження піритної і органічної сірки до 0,16 % і 0,71 % відповідно, германію - до 5,0 г/т. Ці показники відповідали загальній десульфуризації вугілля на 75,7 % (по піритній і органічній сірці на 93,7 % і 31,0 % відповідно), попутному вилученню германію на 75 %.

Таким чином, як слідує з наведених прикладів, спосіб, що пропонується, здійснюється при нормальній температурі, не вимагає додаткової операції подрібнення вугілля, є ресурсо- і енергозберігаючим та спрощеним за рахунок більш короткого часу проведення, відсутності підігріву, перемішування і забезпечення аерації, та, головне, забезпечує високий ступінь зменшення кількості загальної сірки в вугіллі (у тому числі і органічної) поряд з попутним вилученням з вугілля цінного рідкісного металу германію з високими показниками.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб депіритизації вугілля з вилученням германію, який полягає в використанні окислювальної активності змішаної культури мікроорганізмів аборигенної мікробіоти, що включає стадію обробки вугілля поживним середовищем 9К складу, г/дм³: (NH₄)₂SO₄ - 3,0; Ca(NO₃)₂ - 0,01; MgSO₄·7H₂O - 0,5; K₂HPO₄ - 0,5; KCl - 0,1; при співвідношенні Т:Р=1:10; рН 1,8-2,2, який **відрізняється** тим, що до поживного середовища 9К додають FeSO₄·7H₂O у кількості 9,0 г/дм³, обробку проводять при температурі 28-32 °С протягом 7 діб, а після цього проводять другу стадію обробки вугілля поживним середовищем складу, г/дм³: пептон - 10,0; дріжджовий екстракт - 5,0; глюкоза - 5,0; K₂HPO₄ - 1,5; MgSQ₄·7H₂O - 3,0; при Т:Р=1:10, рН 6,8-7,2, температурі 28-32 °С, протягом 7 діб.

Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601