

УДК 630*165

Ю. І. ГАЙДА¹, Р. М. ЯЦИК²
ЩОДО ДОЦІЛЬНОСТІ СТВОРЕННЯ Й КУЛЬТИВУВАННЯ
ГЕНЕТИЧНО МОДИФІКОВАНИХ ДЕРЕВ

1. Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва ім. П. С. Пастернака

2. Прикарпатський національний університет ім. В. С. Стефаника

Наведено оглядову інформацію та власні міркування щодо національної політики стосовно створення, випробування генетично модифікованих дерев, широке вивчення кількісного та якісного рівнів ризиків і переваг їх використання.

Ключові слова: технології, генна інженерія, генетично-модифіковані дерева.

Протягом останніх десятиліть генетика розвивається надзвичайно динамічно як у теоретичному, так і у прикладному аспектах. Розроблено й апробовано різноманітні методи та інструменти, які дають змогу виявляти генетичну мінливість як на рівні популяцій, так і між геномами [1, 4, 6, 13, 14]. Завершено "секвенування" (розшифрування послідовностей нуклеотидів ДНК) у багатьох організмів, у тому числі – у людини [2, 8]. У 2004 році встановлено послідовність генів тополі бальзамічної (*Populus trichocarpa*). Це була третя рослина у світі після резушки Таля (*Arabidopsis thaliana*) і рису, у якої розшифрували нуклеотидну послідовність ДНК [22]. Останнім часом генетика перейшла від пасивного вивчення геномів до активної їх видозміни. Завдяки цьому виник новий напрям біотехнології – генна інженерія, яка оперує сукупністю прийомів, методів і технологій отримання рекомбінантних РНК і ДНК, виділення генів із організму (клітин), здійснення маніпуляцій із генами і введення їх в інші організми [19]. На відміну від традиційних селекційних програм генінженерні маніпуляції можуть здійснюватися з видами, дуже далекими в систематичному плані. Наприклад, створено можливість трансплантування гена риби в геном евкаліпта, гена бактерії – в геном тополі.

Науковцями використовуються різні технології вставки чужої ДНК в геном рослини. Один із методів передбачає покриття золотих частинок фрагментами ДНК донора і обстрілювання ними за допомогою "генних гармат" рослин-реципієнтів. Таку технологію було розроблено у 1983 році Джоном Сенфордом, Едвардом Вольфом, Нельсоном Алленом і Теодором Кляном (John Sanford, Edward Wolf, Nelson Allen and Theodore Klein) із Корнельського університету (США). Патент на це відкриття був куплений відомим хімічним концерном "Дюпон", який створив для його використання спеціальну лабораторію.

Інша технологія ґрунтується на природній здатності бактерії *Agrobacterium tumefaciens* передавати частину своєї ДНК рослині-господарю. Молекулярні біологи модифікують бактерію таким чином, що вона містить бажаний фрагмент ДНК, а потім інфікують нею необхідну рослину. Замість бактерії використовують також віруси.

Ще один метод генної інженерії полягає у вставці ДНК у протопласт клітин рослини, стінки якої хімічно вилучають. Бажану ДНК розміщують на плазмінному векторі (самореplikантній ДНК-молекулі), який вводять у протопласт. Рослинну клітину культивують за методикою культури тканин, і вектор вставляє бажані гени в геном клітини-господаря [12, 15]. Проте жодна із цих технологій не гарантує необхідних результатів. Ефект від них часто не є передбачуваним. Поки що відсутній спосіб точної вставки чужорідних генів у геном реципієнта. Немає також способу контролювання кількості інсертованих копій ДНК. Окрім того, чужі гени можуть взаємодіяти з "рідними" генами в неочікуваний спосіб.

Незважаючи на вищеназвані недоліки, основні технології генної інженерії виявилися доволі результативними, особливо стосовно сільськогосподарських культур. Так, уже у 2000 році у США 20 % площ під кукурудзою, 50 % – під соєю, 75 % – під бавовною культивувалися ГМО [19]. Не залишилися поза увагою фахівців із генної інженерії й лісові деревні види. Першу дослідну культуру генетично модифікованого дерева тополі, стійкої до гербіцидів, було висаджено у Бельгії у 1988 році. З того часу лабораторні дослідження і

польові випробовування генетично модифікованих лісових деревних порід проводяться доволі інтенсивно. У табл. 1 наведені узагальнені матеріали про масштаби та цілі виведення генетично модифікованих дерев.

Таблиця 1

Цілі та географія робіт зі створення генетично модифікованих лісових дерев

Деревні породи	Країни, у яких проводяться дослідження з ГМД	Цілі виведення ГМД
Тополі Евкалипти Верби В'язи Горіхи Сосни Ялиці та інші (загалом 19 родів)	США Канада Китай Японія Німеччина Великобританія Франція Фінляндія Бельгія Швеція Норвегія Португалія Іспанія ПАР Австралія Нова Зеландія Бразилія Чилі Уругвай	– прискорення росту – поліпшення якості стовбурів – зменшення вмісту лігніну у деревині – збільшення стійкості до хвороб і шкідливих комах – підвищення толерантності до дії несприятливих абіотичних чинників – збільшення стійкості до гербіцидів на плантаціях – поглинання надлишку CO ₂ в атмосфері – меліорація земель, забруднених важкими металами

Таким чином є очевидним, що нині генною інженерією охоплено доволі широкий спектр деревних видів, як хвойних, так і листяних. Найбільше досліджень здійснено з тополями й евкаліптами. Це пояснюється значною зацікавленістю в таких роботах великих компаній, які виготовляють целюлозу та папір. Саме такі підприємства найчастіше постають фінансовими донорами біотехнологічних проектів (табл. 2).

Доволі широкою є й географія проведення досліджень. Провідною країною в цьому плані є США. Не менш інтенсивні роботи з виведення ГМД проводяться також в інших лісівничо розвинених (та й не тільки) країнах майже усіх континентів. Нині в усьому світі нараховуються понад 200 випробних культур трансгенних дерев [11].

За допомогою методів генної інженерії вчені й практики прагнуть суттєво зменшити тривалість селекційного процесу. Шляхом трансплантації генів намагаються підвищити інтенсивність росту дерев, змінити хімічну структуру деревини, забезпечити толерантність до гербіцидів, надати їм необхідного імунітету до збудників хвороб, шкідливих комах, несприятливих кліматичних чинників [16, 17]. Так у Китайському інституті лісового господарства науковці внаслідок трансплантації генів бактерії *Bacillus thuringiensis* у геном тополі отримали дерева, які здатні самостійно виробляти Bt токсин і тому є стійкими до пошкодження листогризними комахами. Нині у польових умовах північних провінцій Китаю на площі близько 300 га вирощують понад мільйон таких ГМД [21]. У Чилі генетики працюють над підвищенням стійкості соснових насаджень до пагонов'юна зимового (*Rhyacionia buoliana*) та низьких температур, що дасть змогу створювати плантації сосни променистої (*P. radiata*) значно південніше та вище в горах. У Бразилії дослідження сфокусовані на евкаліптах. Їх основна мета – підвищення ростових параметрів, збільшення виходу целюлози, формування стійкості до дії гербіциду гліфосату.

Ще одним важливим аргументом доцільності створення і широкого культивування ГМД називають можливість часткового вирішення з їх допомогою проблеми глобального потепління на планеті [9]. Вважається, що створення у великих масштабах плантацій деревних порід допоможе абсорбувати значну частку надлишку оксиду вуглецю в атмосфері [5]. У грудні 2003 року дев'ята конференція учасників рамкової конвенції ООН зі змін клімату

ухвалила рішення щодо дозволу компаніям та урядам у створенні плантацій ГМД під егідою Кіотського протоколу "Чистий розвиваючий механізм" (CDM) [10]. При цьому відповідальність за юридичне регулювання цього процесу перенесено на національний рівень.

Таблиця 2

Напрями й результати корпоративних та університетських досліджень з ГМД

Корпорація, університет (країна)	Деревні види	Цілі досліджень	Відомості про результати наукових проєктів
1	2	3	4
ArborGen (США)	Тополі Евкалипти Сосни Ліквідамбар	– зменшення вмісту лігніну в деревині; – збільшення інтенсивності росту; – збільшення прямизни стовбурів; – підвищення стійкості до хвороб і шкідників; – забезпечення стерильності ГМД	Створено 51 польові дослідні культури
Horizon2 (Нова Зеландія)	Евкалипти Сосна промениста	– зменшення вмісту лігніну в деревині; – збільшення вмісту целюлози; – збільшення інтенсивності росту; – підвищення стійкості до шкідників; – підвищення стійкості до чинників стресу	
GenFor (Чилі)	Сосна промениста Сосна ладанна	– підвищення стійкості до пагонов'юна зимового; – збільшення вмісту целюлози; – зменшення вмісту лігніну в деревині;	Прогнозувався початок комерційного використання ГМД у 2008 році
Agacruz Cellulose (Бразилія)	Евкалипти		Лабораторні дослідження
Nippon Paper Industries (Японія)	Евкалипти Тополі	– стійкість до засолення ґрунтів; – стійкість до забруднення повітря; – збільшення вмісту целюлози; – зменшення вмісту лігніну в деревині	У 1999 році активістами анти-ГМО руху знищені польові дослідні культури в Англії У 2001 році отримано дерева, які містять на 20 % менше лігніну і на 10 % більше целюлози
Оґі Paper (Японія)	Евкалипти	– зменшення вмісту лігніну в деревині; – стійкість до засолення ґрунтів; – стійкість до кислих ґрунтів	Дослідження вели у закритих теплицях, у 2001 році закладено 1,0 га польових дослідних культур ГМ евкалипта у В'єтнамі
Tree Genomics, Biotechnology and Breeding Programme, Oregon State University (США)		– стійкість до гербіцидів; – підвищення стійкості до хвороб і шкідників; – зменшення вмісту лігніну в деревині; – забезпечення стерильності ГМД	
Oak Ridge National Laboratory (США)	Тополі	– поглинання ГМД надлишку CO ₂ ; – використання деревини як джерела етанолу	

1	2	3	4
North Carolina State University (США)	Клен	– збільшення вмісту целюлози; – зменшення вмісту лігніну в деревині; – збільшення інтенсивності росту	Проводили чотирьохрічні польові досліді у Франції та Англії
Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) (Австралія)	Евкалипти	– збільшення інтенсивності росту; – забезпечення стерильності ГМД	
Forest Research (Новая Зеландія)	Сосна Ялина	– підвищення стійкості до хвороб і шкідників; – підвищення якості деревини; – підвищення стійкості до гербіцидів; – управління репродуктивною фазою – зменшення вмісту лігніну в деревині	У липні 2003 року закладено два польових досліді у Новій Зеландії
Chinese Academy of Forestry, Beijing (Китай)	Тополя	– підвищення стійкості до шкідників	Створені промислові плантації
Department of Plant Sciences, Oxford University (Англія)	Тополя Евкалипт	– зменшення вмісту лігніну в деревині	

Генетичні модифікації лісових деревних видів із самого початку часто супроводжувалися негативною суспільною думкою. Сучасні наукові, громадські, політичні дискусії про безпеку ГМО, у тому числі ГМД характеризуються надзвичайною гостротою і поляризованістю. Противники створення й широкого використання ГМД наводять практично на кожну тезу прихильників цього процесу свою антитезу. Так, багато науковців стверджують, що мутації можна розглядати як спрямовані генетичні маніпуляції, які ведуть, як і генна інженерія, до видозміни первинного геному. На їх думку, наслідки штучного мутагенезу такі ж непередбачувані, як і результати генетичної інженерії. Проте ніхто не ставив так гостро питання про заборону таких інструментів видозміни геному. Щоправда, масштаби експериментів і майбутнє використання результатів генетичної інженерії значно ширші. Можливо, тому і суспільний резонанс адекватно вищий.

Нами зроблено спробу узагальнити та класифікувати вигоди й ризики від використання ГМД (рис).

Очевидно, що від створення й використання ГМД можна очікувати значних економічних, екологічних і соціальних вигід, зокрема отримання енергетичних ресурсів шляхом виробництва етанолу з біомаси ГМД та депонування насадженнями ГМД значної частки одного із парникових газів – двоокису вуглецю. Важливими є також можливості підвищення продуктивності, якості і стійкості лісових насаджень. Проте, як добре видно з рисунку, не менш широким є спектр можливих негативних наслідків від культивування модифікованих дерев, серед яких домінують ризики екологічного й соціального характеру. Для запобігання деяким із них розробляються технології забезпечення стерильності ГМД. Проте тривалість онтогенезу дерев є ще одним чинником ризику відновлення фертильності ГМД і реалізації сценарію трансферу нового гена в популяції "диких" дерев. Побічним негативним ефектом стерильності ГМД може бути виключення комах, птахів та інших видів, розвиток яких пов'язаний із цвітінням і плодоношенням дерев, із трофічних ланцюгів екосистеми. Також ГМД із пониженим вмістом лігніну можуть виявитися нестійкими до буреломів, пошкоджень комахами та збудниками хвороб.

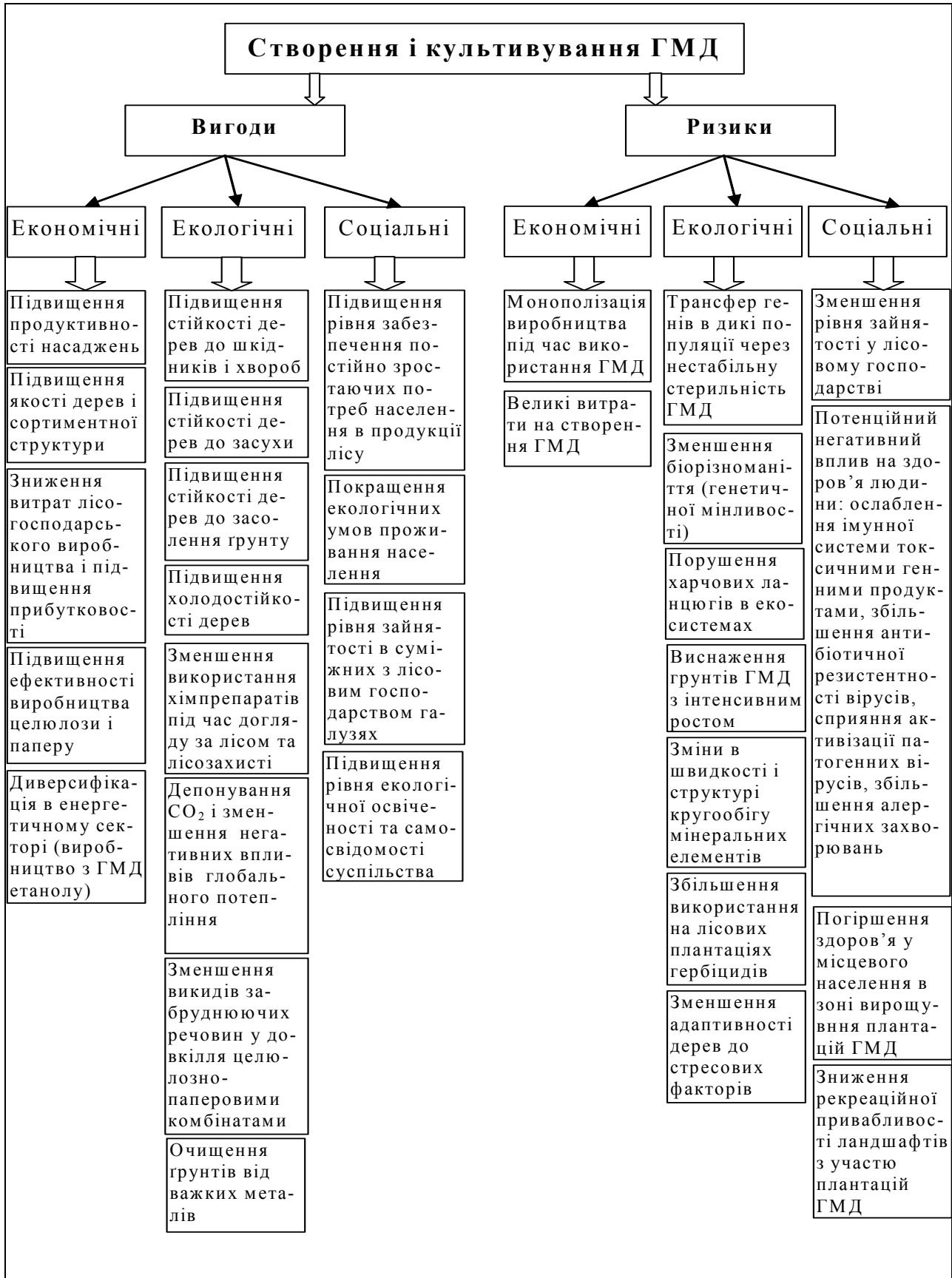


Рис. – Очікувані вигоди й можливі ризики від розробки та використання генетично модифікованих дерев

Існування такого великого спектра можливих ризиків виведення й використання ГМД є причиною створення великої кількості громадських, наукових інституцій, які ведуть широку

інформаційну роботу, спрямовану на заборону проведення подібних досліджень. Проте зупинити цей напрям розвитку генної інженерії неможливо. Широкий розмах генетичних маніпуляцій з лісовими породами поставив на порядок денний питання про правове регулювання цього процесу. Оскільки для генів та їх трансферних засобів (пилку, насіння) не існує державних кордонів, цю проблему неможливо вирішити лише на національному рівні. Нині уже прийнято низку міжнародних нормативно-правових актів, які прямо чи опосередковано регулюють генетичну модифікацію лісових дерев і торгівлю ними. Назвемо основні з них:

– Картагенський протокол Конвенції про біологічне різноманіття (CBD), який стосується транскордонного переміщення живих модифікованих організмів, у тому числі лісового насіння садивного матеріалу і продуктів лісу;

– Міжнародна конвенція захисту рослин (IPPC), яка вимагає відповідних фітосанітарних заходів стосовно транскордонного переміщення рослин і рослинних продуктів (в т. ч. дерев) на основі аналізу ризиків у випадку, коли немає узгоджених міжнародних стандартів;

– Директива ЄС 1999/105/ЄС стосовно торгівлі лісовим репродуктивним матеріалом, яка вимагає від усіх країн маркувати генетично модифіковані матеріали.

Деякі країни на основі міжнародних актів розробили свої правила, що регулюють ГМД. Так, у Німеччині існує норма в законі про репродуктивний матеріал (FoVG, §4, абзац 3), яка допускає використання репродуктивного матеріалу ГМД лише під категорією "випробуваний", тобто після належної перевірки їх потомства [20].

Генетично модифікованих дерев стосуються також деякі інші юридичні регулюючі документи, які не мають зобов'язуючої сили. До них належать вимоги системи стандартизації лісів (FSC – Forest Stewardship Council) не сертифікувати плантації генетично модифікованих дерев [12].

Висновки. Неможливо однозначно відповісти на запитання про баланс переваг і ризиків від створення й використання ГМД. Очевидно, що як і раніше було з іншими важливими науковими відкриттями (наприклад, ядерною ланцюговою реакцією), людство змушене буде заплатити певну ціну за використання ГМД. Важливим завданням науковців є визначення масштабу цієї ціни і створення інструментів її зниження.

Оскільки процес створення й випробовування ГМД за кордоном триває, він тією чи іншою мірою стосуватиметься України. Тому важливим завданням є розробка національної політики стосовно використання таких дерев. Вважаємо, що для цього потрібно:

– зібрати найповнішу інформацію про стан створення та випробовування ГМД;

– провести наукову і громадську дискусію з питання можливості допуску ГМД на територію України (для випробування й комерційного використання);

– розгорнути широке вивчення кількісного та якісного рівнів ризиків і переваг використання ГМД;

– розробити національну систему нормативно-правових актів, що регулюють процес створення, випробування, використання й переміщення ГМД.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гончаренко Г. Г., Падуттов В. Е., Потенко В. В. Руководство по исследованию хвойных видов методом электрофоретического анализа изоферментов. – Гомель: БелНИИЛХ, 1989. – 164 с.

2. Киселев Л. Л. Геном человека и биология XXI века // Вестник Российской Академии Наук. – 2000. – Т. 70. – № 5. – С. 412 – 424.

3. Ковальчук Л. Є. Генетический фонд Украины: текущее состояние и перспективы сохранения // Здоров'я України. – 2003. – № 62. – - <http://www.health-ua.org/issues/health/62.html>

4. Коршиков И. И. Популяционно-генетическое разнообразие лесообразующих хвойных на территории Украины // Збірник наукових праць НАНУ, УААН, АМНУ, УТГіС "Досягнення і проблеми генетики, селекції та біотехнології". – К.: Логос, 2007. – С. 355 – 360.

5. Лакида П. І., Букаша І. Ф., Пастернак В. П. Зменшення ризику глобальної зміни клімату шляхом депонування вуглецю при лісорозведенні та лісовідновленні в Україні // Науковий вісник НАУ. – 2004. – Вип. 79. – С.

6. Политов Д. В. Генетика популяцій и еволюционные взаимоотношения видов сосновых (сем. Pinaceae) северной Евразии: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – М., 2007. – 47 с.

7. Сулимова Г. Е. ДНК-маркеры в генетических исследованиях: типы маркеров, их свойства и области применения // Успехи современной биологии. – 2004. – Том 124, № 3. – С. 260 – 271.

8. Янковский Н. К., Боринская С. А. Геном человека: Научные и практические достижения и перспективы // <http://www.rfbr.ru/pics/12904ref/file.pdf>

9. Buckeridge M. S., Aidar M. P. M. Carbon Sequestration in the Rain Forest: Alternatives Using Environmentally Friendly Biotechnology // Biota Neotropica. – V.2 – (n1) / <http://www.biotaneotropica.org.br/v2n1/pt/fullpaper?bn00902012002+en>

10. Doyle A. U.N. Talks Permit GMO Forests Under Kyoto / [Reuters](http://www.reuters.com). – December 10, 2003 // www.commondreams.org/headlines03/1210-15.htm

11. Fladung M., Hönicka H. Mit sterielen Pappeln die Auskreuzung in forstliche Ökosysteme verhindern. – Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung. – www.l.rz.uni-hamburg.de/GeneTree/2006_FR_0106-Pappeln.pdf

12. FSC interpretation on GMOS: Genetically modified organisms. Approved May 2000 19th meeting of the FSC Board of Directors. – 6 p. http://www.fsc.org/keepout/en/content_areas/77/133/files/FSC_POL_30_602_EN_FSC_GMO_Policy_2000.pdf

13. Glaubitz J. C., Moran C. F. Genetic Tools: The use of biochemical and molecular markers. Chapter 4. In eds. Young A. Y., Boshier D., Boyle T. J. B., Yeh F. C. // Forest conservation genetics, Principle and Practice. CABI Publishing, Wallingford, UK, 2000. – P. 39 – 59.

14. Hunter R. L., Markert C. L. Histochemical demonstration of enzymes separated by zone electrophoresis in starch gels // Science. – 1957. – V. 125, № 3261. – P. 1294 – 1295.

15. Lang C. Genetically modified trees. The ultimate threat to forest // World Rainforest Movement, Friends of Earth, – 2004. – 102 p. – www.wrm.org.uy/subjects/GMTrees/text.pdf

16. Plant and Forest Biotechnology: Risk Assessment and Evaluation. Report of multidisciplinary conference (15th June 2000, Sigtunastiftelsen, Sigtuna, Sweden) // www.crb.uu.se/elsa/sigtuna.html

17. [Preliminary review of biotechnology in forestry, including genetic modification](http://www.fao.org/docrep/008/ae574e/ae574e00.htm). Forest Genetic Resources Working Paper FGR/59E. Forest Resources Development Service, Forest Resources Division. FAO. 2004. Rome, Italy. <http://www.fao.org/docrep/008/ae574e/ae574e00.htm>

18. Strauss S. N., Coventry P., Campbell M. M., Pryor S. N., Burley J. Certification of genetically modified forest plantation // International Forestry Review. – 2001. – Vol. 3? No 2. – P. 85 – 102 // www.cof.orst.edu/coops/tbgrc/Staff/strauss/publications/Strauss_2001_International_Forestry_Review.pdf

19. http://www.iacgea.ru/?Gennaya_inzheneriya

20. <http://www.gesetze-im-internet.de/fovg/BJNR165800002.html>

21. www.gmo-safety.eu/en/wood/poplar/325.docu.html

Hayda Yu. I.¹, Yatsyk R. M.²

ABOUT EXPEDIENCY OF CREATION AND CULTIVATION THE GENETICALLY-MODIFIED TREES

1. Ukrainian Research Institute of Mountain Forestry named after P. S. Pasternak

2. Precarpathian National University named after Vasyl Stepanyuk

Review information and own arguments on the national policy concerning creation, testing of genetically-modified trees and wide studying of quantitative and qualitative level of risks and advantages of their use is presented.

К е у в о р д с : technologies, gene engineering, genetically-modified trees.

Гайда Ю. И.¹, Яцык Р. М.²

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ СОЗДАНИЯ И КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИ-МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДЕРЕВЬЕВ

1. Украинский научно-исследовательский институт горного лесоводства им. П. С. Пастернака.

2. Прикарпатский национальный университет им. В. С. Стефаника

Приведена обзорная информация и собственные суждения о национальной политике, касающейся создания и испытания генетически-модифицированных деревьев, широкого изучения количественного и качественного уровня рисков и достоинств их использования.

К л ю ч е в ы е с л о в а : технологии, геновая инженерия, генетически-модифицированные деревья.

Одержано редколлегією 12.12.2008 р.