

УДК 639.215.2:612.38:(546.46+546.47)

В.О. ХОМЕНЧУК, В.Я. БИЯК, С.Р. СІМЧУК, Ю.І. СЕНИК, О.О. РАБЧЕНЮК,  
В.З. КУРАНТ

Тернопільський національний педагогічний університет ім. Володимира Гнатюка  
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46027

## ОСОБЛИВОСТІ ПОГЛИНАННЯ ІОНІВ ЦИНКУ ТА КАДМІЮ КИШЕЧНИКОМ КОРОПА

Досліджено поглинання іонів цинку та кадмію в клітинах переднього та середнього відділів кишечника коропа *Syrphus carpio* L. Показано, що транспорт іонів  $Zn^{2+}$  та  $Cd^{2+}$  через мембрани ентероцитів коропа є регульованим процесом. Адаптація риб до дії іонів важких металів значною мірою модулює їх поглинання кишковим епітелієм.

*Ключові слова:* адаптація, короп, транспорт, кишечник, цинк, кадмій

Зростання вмісту важких металів в водному середовищі призводить до надмірного акумулювання їх водними організмами та порушення нормального функціонування метаболічних систем у гідробіонтів. Токсичність іонів важких металів може модулюватись температурою, рН середовища, іонною силою розчину, присутністю хелатуючих агентів тощо [3].

Проникнення вищевказаних токсикантів в організм риб характеризується складними механізмами регуляції і потребує детального вивчення. Крім того, відомо, що організм має здатність адаптуватись до дії іонів металів та регулювати кількість їх надходження [7].

Тому метою роботи було вивчення проникнення іонів цинку та кадмію через апікальну мембрану ізольованих передньої та середньої частини кишечника адаптованих до даних металів та неадаптованих риб.

### Матеріал і методи досліджень

Дослідження проведено на коропах *Syrphus carpio* L. дворічного віку масою 250-300 г. Дослідних риб виловлювали траловим методом з ставків Тернопільського рибкомбінату, урочище Залісці.

З метою вивчення впливу іонів важких металів на їх транспорт, риб аклімували протягом 14 днів до  $Zn^{2+}$  та  $Cd^{2+}$ . Даний період вважається достатнім для формування адаптивної відповіді організму до дії вищевказаних токсикантів [4].

Було проведено 2 серії досліджень. У першій – на піддослідних рибках вивчався вплив іонів цинку в концентраціях 0,5 та 2 рибогосподарських гранично-допустимих концентрацій (ГДК) [1]. Іони металу вносили у вигляді сульфату. Друга серія досліджень була проведена з метою адаптації риб до дії іонів кадмію, які були внесені у вигляді хлориду в концентраціях, що відповідали 0,5 та 2 рибогосподарським ГДК [1].

Після 14 денної аклімації риб забивали, на холоді відбирали передню і середню частини кишечника та *in vitro* досліджували концентраційну (0,05, 0,1, 0,5, 1, 2, 3 та 5 мг/дм<sup>3</sup>) залежність проникнення  $Zn^{2+}$  та  $Cd^{2+}$  в клітинах кишечника адаптованих та неадаптованих (контрольних) риб. Температура середовища інкубації становила  $18 \pm 2$  °C; час – 30 хв. Як інкубаційне середовище використано розчин Рінгера для холоднокровних. Співвідношення маси тканини до об'єму досліджуваного розчину становило 1:10. Після інкубації кишечник промивали 3 рази чистим розчином Рінгера. Рівень накопичення металів визначали як різницю між вмістом металів в контрольній (без додавання іонів металу) та дослідній групах.

Для визначення вмісту цинку та кадмію в кишечнику останні спалювали в перегнаній нітратній кислоті у співвідношенні 1:5 (маса: об'єм). Вміст металів в усіх дослідженнях визначали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115 і виражали в мкг на г вологої тканини. Всі одержані дані оброблено статистично [2].

### Результати досліджень та їх обговорення

#### *Особливості поглинання іонів цинку кишечником коропа*

Аналіз концентраційної залежності поглинання іонів цинку клітинами переднього відділу кишечника показує, що в діапазоні концентрацій 0,05-0,5 мг/дм<sup>3</sup> як в неадаптованих, так і адаптованих до 0,5 ГДК іонів металу риб кількість зв'язаного цинку залишається практично незмінною і знаходиться в межах 9-15 мкг/мг тканини (Рис. 1а). Подальше збільшення іонів  $Zn^{2+}$  в середовищі інкубації призводить до лінійного зростання кількості акумульованого металу. Слід

відмітити практично однаковий профіль графіків поглинання та кількості акумульованого цинку у кишечнику риб контрольної та дослідної груп.

У риб адаптованих до 2 ГДК іонів цинку профіль кривої поглинання має подібний характер (Рис.1б). В інтервалі концентрацій від 0,05 до 1 мг/дм<sup>3</sup> кількість сорбованого металу переднім відділом кишечника збільшується незначно - від 10 до 20 мкг на г вологої тканини, після чого кількість Zn<sup>2+</sup> лінійно зростає досягаючи максимуму при 5 мг/ дм<sup>3</sup> [Zn<sup>2+</sup>] в середовищі інкубації. Слід відмітити, що кількість поглинутого металу кишечником у риб адаптованих до 2 ГДК цинку нижча у концентраційному діапазоні 1-5 мг/дм<sup>3</sup> порівняно з контрольною групою, що, очевидно, є наслідком структурних перебудов клітин кишкового епітелію дослідних риб.

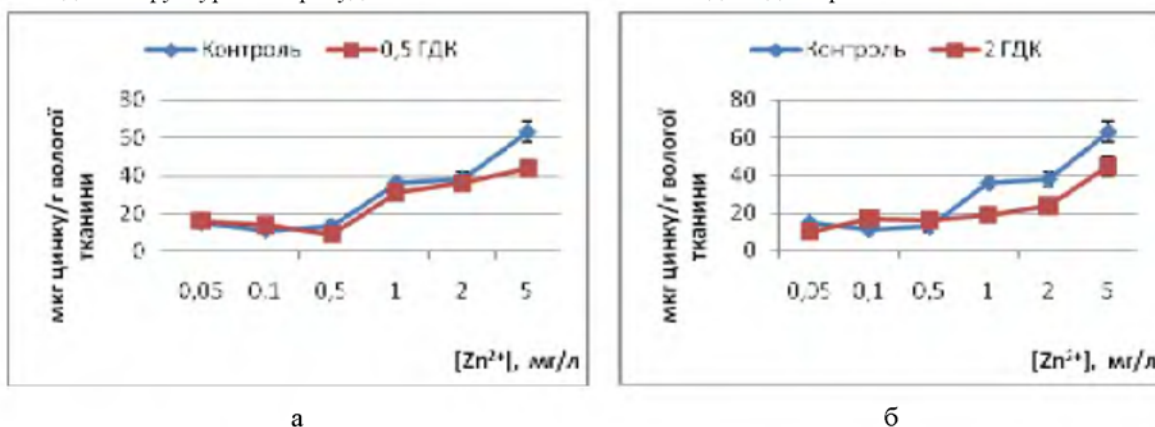


Рис. 1. Вплив адаптації риб до дії 0,5 (а) та 2 (б) ГДК цинку на поглинання Zn<sup>2+</sup> переднім відділом кишечника коропа

Можна припустити, що поряд із зміною структури мембран проходить синтез нових ізоформ мембранних переносників, які володіють меншою спорідненістю до іонів цинку [7].

Аналіз результатів щодо зв'язування іонів цинку середнім відділом кишечника коропа показав, що в контрольній групі риб має місце пряма залежність між концентрацією цинку в середовищі інкубації та кількістю поглинутого середнім відділом кишечника коропа металу (Рис. 2а). Ефекту насичення в даному концентраційному діапазоні відмічено не було, а кількість акумульованого цинку, із збільшенням іонів металу у середовищі інкубації, зростала від 5 до 50 мкг/мг вологої тканини. У адаптованих до 0,5 ГДК іонів цинку риб крива поглинання його ентероцитами коропа характеризується ефектом насичення в інтервалі концентрацій 0,1-0,5 мг/ дм<sup>3</sup>, після чого кількість зв'язаного металу лінійно зростала досягаючи максимуму за 5 мг/л цинку в середовищі інкубації. Окрім того в концентраційному інтервалі 0,5-5 мг/ дм<sup>3</sup> кількість поглинутого цинку клітинами середнього відділу кишечника є меншою у риб адаптованих до 0,5 ГДК металу порівняно з контрольною групою. Очевидно, дане явище є наслідком структурних змін як клітин в цілому, так і їх мембран, обумовлених дією підвищених концентрацій металу. Дана гіпотеза підтверджується літературними даними. Так, за дії 2,4 мкмоль/ дм<sup>3</sup> іонів міді на *Oncorhynchus mikiss*, було виявлено нові субпопуляції зябрового епітелію, як спосіб обмеження надходження металу в організм [5].

У риб адаптованих при 2 ГДК іонів цинку характер залежності поглинання Zn<sup>2+</sup> від їх концентрації кишечником дещо відмінний від групи риб аклімованих при 0,5 ГДК (Рис. 2б). Дослідження показують, що кількість поглинутого металу у даній групі риб лише за інкубації при 2 та 5 мг/л є нижчим порівняно з контрольною групою риб. Відмічено нелінійний характер сорбції іонів цинку з максимумом при 1 та 5 мг/ дм<sup>3</sup>. Відомо що системи синтезу мембран є надзвичайно чутливими до дії високих концентрацій важких металів [9]. За дії допорогової концентрації іонів цинку організм ще в змозі адаптуватися до токсиканта, тоді як сублетальні його концентрації, очевидно, призводять до деструктивних змін як її ліпідного так і білкового компонента мембран. Виходячи з результатів досліджень, можна стверджувати, що адаптація риб до іонів цинку забезпечує зростання рівня регуляції надходження металу не тільки за рахунок базолатеральної, як вказується в дослідженнях [6], але і апікальної мембрани кишечника коропа.

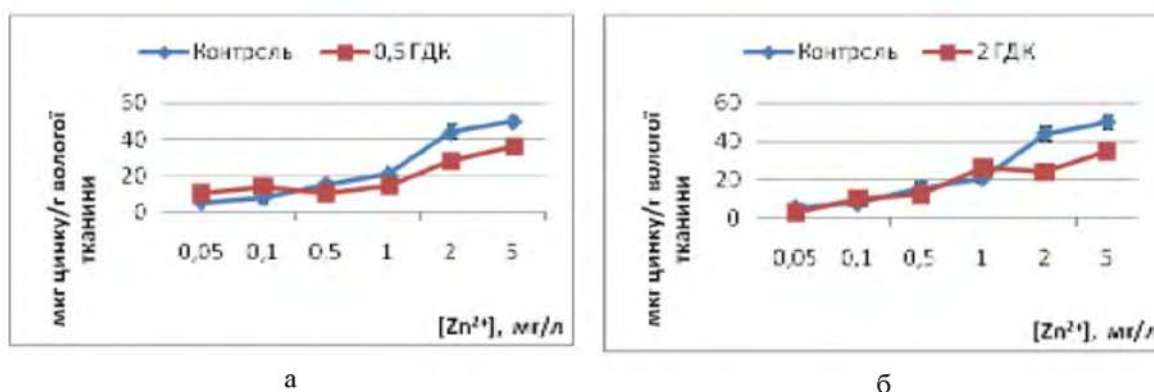


Рис. 2. Вплив адаптації риб до дії 0,5 (а) та 2 (б) ГДК цинку на поглинання  $Zn^{2+}$  середнім відділом кишечника коропа

*Особливості поглинання іонів кадмію кишечника коропа*

Графік залежності проникнення іонів кадмію від їх концентрації в середовищі інкубації ентероцитами переднього відділу кишечника як у контрольних, так і адаптованих до дії 0,5 ГДК, риб має подібний профіль (Рис. 3а). При цьому відмічено лінійну залежність між концентрацією металу в середовищі інкубації та кількістю поглинутого металу без ефекту насичення. Це свідчить про концентраційнозалежний характер проникнення іонів кадмію через мембрани. Очевидно, проникнення важких металів проходить шляхом полегшеної дифузії, і кількість поглинутого металу прямо пропорційна градієнту концентрацій токсиканта. Разом з тим, слід відмітити меншу кількість акумульованого металу у кишечнику адаптованих риб порівняно з контролем.

Поглинання іонів  $Cd^{2+}$  у кишечнику коропів адаптованих до 2 ГДК має подібний характер з рибами адаптованими за дії допорогових концентрацій (Рис. 3б).

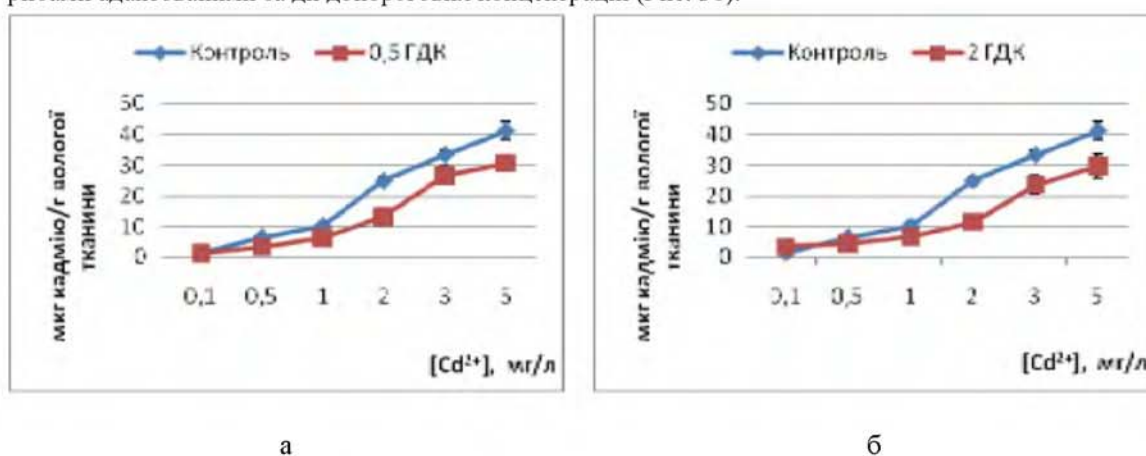


Рис. 3. Вплив адаптації риб до дії 0,5 (а) та 2 ГДК (б) кадмію на поглинання  $Cd^{2+}$  переднім відділом кишечника коропа

Аналіз результатів накопичення іонів кадмію клітинами середнього відділу кишечника в адаптованих групах риб (0,5 та 2 ГДК), показує подібний профіль кривих в інтервалі концентрацій 0,1 - 2 мг/  $дм^3$  у середовищі інкубації (Рис. 4а,б). Разом з тим, характер кривих поглинання дослідних груп риб є відмінний від контрольних. Слід відмітити, що при аклімації риб до підвищених концентрацій іонів металу їх резистентність до дії токсиканта значною мірою зростає, про що говорить значне зменшення кількості сорбованого металу. З однієї сторони це можна трактувати структурно-функціональними змінами клітинної оболонки в процесі адаптації кишкового епітелію до підвищених концентрацій іонів, а з іншої ефектом ослизнення характерним для граничних епітеліальних тканин [8].

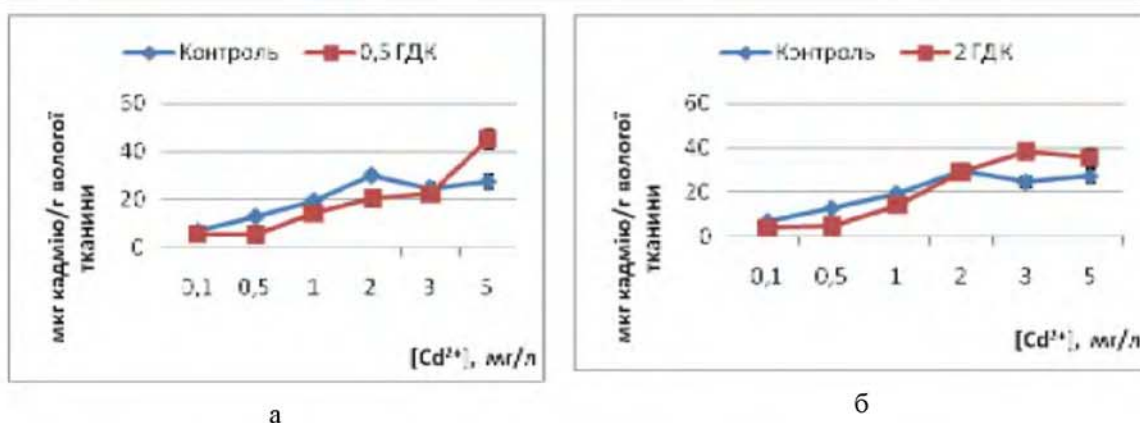


Рис. 4. Вплив адаптації до дії 0,5 (а) та 2 (б) ГДК кадмію на поглинання  $Cd^{2+}$  середнім відділом кишечника коропа

Разом з тим, крива поглинання іонів кадмію контрольних риб та риб адаптованих до 2 ГДК металу характеризуються ефектом насичення в концентраційному інтервалі 3-5 мг/дм<sup>3</sup>, що говорить про високий рівень регуляції надходження металу середнім відділом кишечника риб.

### Висновки

Поглинання іонів цинку та кадмію клітинами переднього та середнього відділів коропа є концентраційнозалежним та до певної межі регульованим процесом. Адаптація риб до дії іонів важких металів значною мірою модулює їх проникнення у організм риб через кишечник.

1. *Беспамятнов Г.П.* Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. Справочник / Г.П.Беспамятнов, Ю.А. Кротов – Л.: Химия, 1985. – 304 с.
2. *Лакин Г.Ф.* Биометрия: Учебное пособие для биол. спец. вузов. 4-е изд., перераб. и доп. / Г.Ф. Лакин – М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
3. *Мур Дж. В.* Тяжёлые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния / Мур Дж., Рамамурти С. – М.: Мир, 1987. – 288 с.
4. *Хлебович В.В.* Акклимация животных организмов / В.В. Хлебович – Л.: Наука, 1981. – 135с.
5. *Dang Z.C.* Effects of copper on cortisol receptor and metallothionein expression in gills of *Oncorhynchus mykiss* / Z.C. Dang, G. Flik, B. Ducouret// *Aquat. Toxicol.* – 2000. – Vol. 51, N 1. – P. 45-54.
6. *Grosell M.* Cu uptake, metabolism and elimination in fed and starved European eels (*Anguilla anguilla*) during adaptation to water-borne Cu exposure / H.J.M. Grosell H.J.M., H.J.M. Hansena, P. Rosenkilde// *Comp. Biochem. Physiol.* – 1998. – Vol. 120C, N 2. – P. 295-301.
7. *Hogstrand C.* Ca<sup>2+</sup> versus Zn<sup>2+</sup> transport in the gills of freshwater rainbow trout and the cost of adaptation to waterborne Zn<sup>2+</sup> / C. Hogstrand, S.D. Reid, C.M. Wood// *J. Exp. Biol.* – 1995. – Vol. 198. –P. 337-348.
8. *Mallat J.* Fish gill structural changes induced by toxicants and other irritants: a statistical review /J. Mallat // *Can. J. Fish Aquat. Sci.* – 1985. – Vol. 42. – P. 630-648.
9. *Satyavathi C.* Inhibition of Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>-ATP-ase in *Penaeus indicus* postlarvae by lead / C. Satyavathi, Y.P. Rao// *Comp. Biochem. Physiol.* – 2001. - Vol. 127C, N 1. – P. 11-22.

*В.О. Хоменчук, В.Я. Бияк, С.Р. Симчук, Ю.И. Сенник, Е.А. Рабченко, В.З. Курант*

Тернопольский национальный педагогический университет им. Владимира Гнатюка, Украина

### ОСОБЕННОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ ИОНОВ ЦИНКА И КАДМИЯ КИШЕЧНИКОМ КАРПА

Исследовано поглощение ионов цинка и кадмия в клетках переднего и среднего отделов кишечника карпа *Syrpinus carpio* L. Показано, что транспорт ионов  $Zn^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  через мембраны энтероцитов карпа является регулируемым процессом. Адаптация рыб к действию ионов тяжелых металлов в значительной степени модулирует их поглощение кишечным эпителием.

*Ключевые слова: адаптация, карп, транспорт, кишечник, цинк, кадмий*

*V.O. Khomenchuk, V.Ya. Byyak, S.R. Simchuk, Yu.I. Senik, O.O. Rabchenyuk, V.Z. Kurant*  
Ternopil National Volodymir Hnatiuk Pedagogical University, Ukraine

**ABSORPTION OF IONS OF ZINC AND CADMIUM BY INTESTINE OF CARP**

Absorption of ions of zinc and cadmium in intestine of *Cyprinus carpio* L. was studied. Transport of ions of  $Zn^{2+}$  and  $Cd^{2+}$  through the membranes of enterocytes of carp is regulated process. Adaptation of fish to the action of ions of heavy metals to modulates their absorption an intestinal epithelium.

*Key words: adaptation, carp, transport, intestine, zinc, cadmium*

УДК (574.5 (28): 581.1)001.891.7

**К.М. ЦАПЛІНА**

Інститут гідробіології НАН України  
пр-т Героїв Сталінграда, 12, Київ 04210

**ПРОДУКЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИЩИХ ВОДЯНИХ РОСЛИН  
КИЇВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ  
ФУНКЦІОНУВАННЯ ЙОГО ЕКОСИСТЕМИ**

Встановлені продукційні характеристики вищих водяних рослин різних екологічних груп у Київському водосховищі. Найбільшу кількість органічної речовини продукують вищі водяні рослини у водосховищно-річковому районі (72,2% всієї продукції).

*Ключові слова: продукційні характеристики, вища водяна рослинність, Київське водосховище*

Однією з основних задач лімнологічних досліджень є складання біотичного балансу водойми. Тому продукційні характеристики вищої водяної рослинності як одного з основних компонентів біоти водосховищ постійно знаходяться в полі зору дослідників. Київське водосховище – головне у каскаді Дніпровських водосховищ і має найбільші за площею мілководні ділянки (314 км<sup>2</sup>), що займають 34% водного дзеркала [1, 6]. Як відомо з літературних джерел [1, 4, 6], основні масиви заростей вищих водяних рослин розташовані у верхній частині водосховища. Згідно останніх даних (1989) площі заростей досягали 132 км<sup>2</sup>, запаси рослинності – 106 тис. т сухої маси.

Метою роботи було встановити продукційні характеристики вищих водяних рослин різних екологічних груп Київського водосховища в цілому та його окремих районів.

**Матеріал і методи досліджень**

Проведено геоботанічні дослідження на Київському водосховищі з (2007–2009 рр.) за методиками В.М. Катанської [2, 3]. Визначались площі заростей вищих водяних рослин різних екологічних груп, фітомасу з 1м<sup>2</sup>. У однорідних і суцільних заростях укоси були зібрані з 0,25 м<sup>2</sup>.

Здійснено картування Київського водосховища, його мілководних частин та зарослих вищою водяною рослинністю ділянок загальноприйнятими методами [2, 3, 7]. Річну продукцію розраховували, використовуючи коефіцієнт 1,1 [4].

Продукцію органічної речовини вищих водяних рослин розраховували в одиницях органічного вуглецю. Для балансових досліджень водосховища фітомасу та продукцію переводили у ккал, враховуючи, що 1 г вуглецю відповідає 10 ккал [5]. Розрахунки фітомаси та продукції вищих водяних рослин здійснювали як для водосховищу в цілому, так і для його окремих районів.

**Результати досліджень та їх обговорення**

В основі геоботанічного районування Київського водосховища лежить принцип розподілу мілководної зони на 3 райони: річковий, водосховищно-річковий та водосховищний [4]. Річковий район характеризується переважаанням річкових умов і має 59,8 км<sup>2</sup> площі мілководь (16,3% площі водосховища в цілому). Для нього характерні масиви заплавних островів та підтоплення в межах центральної і прируслової зон заплави. Площі заростей складають 8,4% від площі мілководь водосховища. З них на повітряно-водну припадає 19,2 км<sup>2</sup>, площі рослин з плаваючим листям становлять 5,6 км<sup>2</sup>, занурені рослини займають площі 1,6 км<sup>2</sup>.

Нині тут реєструються рослинні комплекси, що наявні у заплавних водоймах. Переважають зарості очерета звичайного, масиви заростей рогозу вузьколистого. Найбільшу фітомасу має рогіз