

*І. Т. АСТАПОВІЧ, Г. П. ВОРАНАВА, А. М. СЛУКВІН, С. І. ДАКУЧАЕВА,  
Л. А. КУЦКО, Т. І. ЖУКОУСКАЯ, В. Д. СЕННІКАВА,  
Н. Н. ГАДЛЕУСКАЯ, З. Ф. ЛЯМЕЗА*

## **НАЗАПАШВАННЕ РАДЫЕНУКЛІДАУ $^{134+137}\text{Cs}$ і $^{90}\text{Sr}$ БІЁТАЙ РЫБАВОДНЫХ САЖАЛАК**

Каля 70% дзяржаўнага сажалкавага фонду Рэспублікі Беларусь зазнала радыеактыўнае забруджанне ў выніку аварыі на Чарнобыльскай АЭС. У сувязі з гэтым першараднае значэнне набываюць даследаванні па вывучэнні радыенукліднага забруджання сажалкавых экасістем для адшукання спосабаў вядзення рыбаводства ў гэтых умовах. Комплексныя радыеэкалагічныя даследаванні праводзіліся ў 1991—1992 гг. у найбольш забруджаных сажалкавых гаспадарках Рэспублікі Беларусь: «Белае» (Гомельская вобласць) і «Лахва» (Брэсцкая вобласць) на 9 выроставых і нагульных сажалках.

Вывучалася ступень забруджання і размеркаванне доўгажывучых нуклідаў стронцыю-90 і цэзію-(134+137) у розных кампанентах біёты: вада, грунт, вышэйшая водная расліннасць, планктон, заабентас, рыба. Вызначалася экалагічная вартасць стану сажалкавых сістэм: гідрахімія, якасныя і колькасныя паказчыкі фіта-, зоа- і бактэрыяпланктону, заабентасу, вышэйшай воднай расліннасці.

Пробы вады і грунту на радыяцыйныя, гідрабіялагічныя, гідрахімічныя аналізы адбіралі тры разы за сезон (вясна, лета, восень) у пяці пунктах сажалкі з трыма паўторнасцямі. Сестан адлоўлівалі з дапамо-

гай сеткі з газу № 70, вышэйшую водную расліннасць адбіралі ў прыбярэжнай зоне па 2—3 кг сырой масы, донныя адкладанні — спецыяльным прабаадборнікам (трубкай) і дночарпальнікам Забалоцкага. Аналізавалі паверхневы слой грунту 0—5 см. Пробы вады (20 л) выпарваліся, грунту, макрафітаў, сестану — высушваліся да пастаяннай вагі, рыбу вызначалі на сырую масу. Аналізавалі аб'ём пробы 200 мл на гамаспектрометры АИ-1024. Радыеактыўнасць малака, ікры, вачэй рыбы вызначалі на прыборы «Сотригатта». Збіралі і апрацоўвалі гідрахімічныя і гідрабіялагічныя пробы ў адпаведнасці з агульнапрынятымі метадыкамі [1, 5, 7].

Рыбгасы «Белае» і «Лахва» размешчаны ў Палескай нізіне ў зоне радыяцыйнага забруджання ад 1 да 10 Ки/км<sup>2</sup>. Асноўнай асаблівасцю рыбгасаў з'яўляецца балоцісты вадазбор, які істотна ўплывае на фарміраванне гідрахімічнага рэжыму сажалак. Вада сажалак характарызуецца высокай колернасцю, багатая на гумінавыя рэчывы, змяшчае шмат жалеза (0,7—4,5 мг/л). Вадародны паказчык (рН) асяроддзя знаходзіцца ў межах 7,9—8,8; колькасць кіслароду ў вадзе — 6,9—8,9 мг/л. Па хімічным саставе вада гідракарбанатна-кальцыевая з сярэднім узроўнем мінералізацыі (186,3—321,3 мг/л).

Праведзеныя даследаванні паказалі, што сярэдняя колькасць радые-нуклідаў <sup>134+137</sup>Cs у вадзе абодвух рыбгасаў склала па сажалках 0,49—4,36 · 10<sup>-11</sup> Ки/л, у той час як забруджанасць вады па <sup>90</sup>Sr на парадак больш нізкая (0,04—1,80 · 10<sup>-12</sup> Ки/л) (табл. 1). Да таго ж у сажалках рыбгаса «Лахва» адзначана пэўнае зніжэнне колькасці радыеактыўнага цэзію ў вадзе ў другі год даследавання, што мае сувязь са штогадовым вынасам нуклідаў у адкрытыя вадацёкі пры спуску вады з сажалак.

Ва ўсіх сажалках адзначана зніжэнне ў вадзе колькасці нуклідаў у летні перыяд з наступным павелічэннем яе да восені. Такое перапамеркаванне нуклідаў у вадзе на працягу сезона мае сувязь з павышэннем шчолачнасці асяроддзя ў летні перыяд, выкліканым «цвіценнем» водарасцяў. Падшчалочванне асяроддзя садзейнічала інтэнсіўнаму ўключэнню радыеактыўнага стронцыю і кальцыю ў працэсы карбанатаўтварэння і асабжэнню іх на паверхні раслін і грунту. Паводле нашых даных, у чэрвені—сярдзіне ліпеня пры падшчалочванні асяроддзя да 9,1—9,9 канцэнтрацыя кальцыю і стронцыю ў вадзе асобных сажалак (Лісіцкая-3,4; Луга-15. рыбгас «Белае») знізілася на 30—50%. Аналагічная залежнасць адзначалася і іншымі аўтарамі [2, 4, 8].

Вядома, што большасць радыенуклідаў, якія трапляюць у вадаёмы, дастаткова хутка паглынаецца доннымі адкладаннямі. Трываласць фіксацыі радыенуклідаў грунтамі залежыць ад іх механічнага і хімічнага саставу. Донныя адкладанні даследаваных сажалак абодвух рыбгасаў прадстаўлены пясчанымі, пясчана-ілістымі і тарфяна-ілістымі грунтамі з рознай ступенню заілення. Найбольш трывала стронцый і цэзій замацоўваліся ў сапрапелях і тарфяна-ілістых грунтах. Наяўнасць тут тонкадысперсных ілістых часцінак і павышаныя канцэнтрацыі арганічнага рэчыва абумоўлівалі высокія каэфіцыенты назапашвання (КН) (табл. 1). Напрыклад, КН тарфяна-ілістых грунтоў сажалкі Гурная (рыбгас «Лахва») склаў па цэзіі 1686, а пясчаных, заіленых сажалак Лісіцкая-3,4 (рыбгас «Белае»), выростваю № 1 (рыбгас «Лахва») — 140—362. Больш высокія КН і па <sup>90</sup>Sr у грунтах сажалкі Гурная (1800).

Адным з істотных фактараў, якія ўплываюць на паводзіны радые-нуклідаў у сістэме грунт—вада, з'яўляецца колькасць у вадзе і грунтах іх хімічных аналагаў. Эксперыментальна паказана, што паглынне глебай стронцыю-90 і цэзію-137 мае адваротную залежнасць ад канцэнтрацыі ў растворы іх хімічных аналагаў кальцыю і калію [9]. Згодна з атрыманымі данымі (табл. 1), у сажалках з нізкай колькасцю ў вадзе К (2,0—2,2 мг/л) і Са (6,7—7,5 мг/л) у грунце адзначана максімальная сорбцыя радыеактыўнага цэзію — 10,8—41,7 · 10<sup>-9</sup> Кн/кг (сажалкі Гурная, Востраў-Чайка, рыбгас «Лахва»).

Табліца 1. Сярэднія паказчыкі колькасці радыеактыўнага цэзію і стронцыю ў вадзе і грунтах рыбаводных сажалак рыбгасаў «Белае» і «Ляхва» ў 1991—1992 гг.

Рыбгас, сажалка	Вада			Грунт							
	1991 г.	1992 г.	1992 г.	1991 г.			1992 г.				
	$^{134+137}\text{Cs}$ А, Ки/л·10 <sup>-11</sup>	$^{90}\text{Sr}$ А, Ки/л·10 <sup>-12</sup>	$^{90}\text{Sr}$ А, Ки/л·10 <sup>-12</sup>	$^{134+137}\text{Cs}$ А, Ки/кг·10 <sup>-9</sup>	Ки/км <sup>2</sup>	КН	$^{134+137}\text{Cs}$ А, Ки/кг·10 <sup>-9</sup>	Ки/км <sup>2</sup>	КН	$^{90}\text{Sr}$ А, Ки/кг·10 <sup>-10</sup>	КН
<b>«Белае»</b>											
В — Лісіцкая-3	2,34	2,72	1,10	10,92	8,16	466	3,82	2,68	140	4,32	392
В — Лісіцкая-4	1,72	1,85	0,80	7,12	1,76	414	6,70	2,14	362	0,77	96,0
Н — Луга-14	1,03	1,24	0,70	5,71	1,88	554	4,35	1,28	350	0,91	110
Н — Луга-15	1,41	4,36	1,80	13,60	1,89	962	7,60	0,97	174	0,93	52
Н — Антонова	—	0,82	0,72	—	—	—	4,53	0,89	552	0,64	90
<b>«Ляхва»</b>											
Н — Гурная	1,96	1,02	0,04	41,7	6,61	2127	17,20	1,36	1686	0,72	1800
Н — Востраў-Чайка	1,75	1,24	0,12	10,75	2,53	614	12,45	3,37	1004	0,59	492
<b>Аддзяленне Дубрава</b>											
В — 1	1,13	0,49	0,49	4,99	1,47	441	5,17	1,23	1055	2,82	575
В — 2	1,19	0,54	0,12	7,49	2,74	629	4,96	0,59	920	2,43	2025

Заўвага. В — выроставая сажалка, Н — нагульная сажалка.

Неабходна адзначыць, што назапашванне нуклідаў грунтамі залежыць таксама ад колькасці ў іх арганічнага рэчыва. Глебы з высокай колькасцю арганічнага рэчыва і гліністых мінералаў валодаюць большай сарбцыйнай здольнасцю да назапашвання радыенуклідаў, чым глебы лёгкія з малой колькасцю гумусу [3]. Гэта добра ўзгадняецца з нашымі данымі. Колькасць гумусу ў грунтах даследаваных сажалак складала 7,71—20,9%. У сажалках з высокай колькасцю арганічнага рэчыва (да 18,0—20,9%) узровень радыяцыйнага забруджання быў максімальны (сажалка Лісіцкая В—4, рыбгас «Белае», сажалкі Н—Гурная, Н—Востраў-Чайка, рыбгас «Лахва»).

Адзначана зніжэнне канцэтрацый радыенуклідаў у грунтах на другі год даследаванняў (у 1,4—2,5 раза), што мае сувязь са штогадовым апаражненнем сажалак і змываннем верхняга найбольш забруджанага слоя грунтоў, а таксама з выкананнем аграмельярацыйных работ (пераворванне і дыскаванне выроствай сістэмы сажалак).

У стварэнні прадукцыйнасці вадаёма істотная роля належыць вышэйшай воднай расліннасці. У вывучаных рыбгасах ступень зарастання сажалак вышэйшай воднай расліннасцю складала 20—30%.

Сярод экалагічных груп вышэйшай воднай расліннасці ў сажалках пераважалі: надводная расліннасць (чарот азёрны, рагоз вузкалісты і шыракалісты, маннік пышны, трыснёг звычайны, асака стройная, плюшчай галінасты), расліны з плаваючымі лістамі (драсён земнаводны, шальнік трыпутнікавы) і драбналістыя плаваючыя расліны (раска малая). Адзначана залежнасць назапашвання цэзію ад экалагічных асаблівасцяў раслін. Найбольш інтэнсіўна радыеактыўны цэзіі назапашвае група раслін, якія плаваюць на паверхні вады, найменш — надводныя і паглыбленыя ў ваду, аднак прымацаваныя да дна расліны. У сажалках аддзялення Дубрава рыбгаса «Лахва» і ў рыбгасе «Белае» розніца паміж колькасцю цэзію ў раслінах з плаваючымі на паверхні вады лістамі і падводнымі прымацаванымі дасягала 2,0—3,4 раза. Максімальныя канцэтрацыі цэзію адзначаны для шальніку трыпутнікавага, раскі малой, драсёну земнаводнага ( $2,85—4,45 \cdot 10^{-8}$  Ки/кг). Выкарыстанне адзначаных раслін у якасці бяфільтраў як у водакрынцы, так і ў саміх сажалках можа значна ўзмацніць самаачышчэнне сажалаквых экасістэм.

Значны ўдзел у пераразмеркаванні радыеактыўных рэчываў у вадаёме прымае фіта-, зоа- і бактэрыяпланктон, які з'яўляецца прыроднай кармавой базай рыб.

Агульная біямаса фітапланктону ў сажалках у сярэднім за сезон складала 18,5—68,2 г/м<sup>3</sup> пры колькасці 1,68—35,0 млн кл/мл. У згуртаванні фітапланктону ў 1991 г. адзначана 85 таксонаў водарасцяў, у 1992 г. — 48 таксонаў. Пры гэтым дамінавалі зялёныя, дыятомавыя і сіне-зялёныя водарасці.

Сярэдняя за сезон біямаса зоопланктону складала 4,5—23,1 г/м<sup>3</sup>, колькасць — 265—2291 тыс. экз/м<sup>3</sup>. У зоопланктоне выяўлена 24 віды арганізмаў. Найбольшай відавой разнастайнасцю вызначаліся галінаставусыя ракападобныя і калаўроткі — па 11 відаў. Весланогія рачкі былі прадстаўлены двума відамі.

Колькасць мікрафлары ў вадзе складала ад 3,1 да 6,0 млн кл/мл, біямаса — 1,86—3,56 г/м<sup>3</sup> сырой вагі. У марфалагічнай структуры пераважалі кокападобныя формы; палачкападобныя і ніткападобныя формы складалі не больш за 10—15%.

Даследаванне сестану, які з'яўляецца сукупнасцю дробнадысперсных рэчываў і жывых планктонных арганізмаў, паказала яго высокую здольнасць у назапашванні радыенуклідаў. За перыяд назіранняў 1991—1992 гг. КН сестану склаў 353—3571. Пры гэтым галоўная роля ў акумуляванні радыенуклідаў належыць фітапланктону. Дамінаванне ніткаватых зялёных і сінезялёных водарасцяў са значнымі біямасамі (больш за 70 мг/л) забяспечвала найбольшае назапашванне радыеактыўнага цэзію (табл. 2). Канцэтрацыя радыеактыўнага цэзію ў сеста-

Таблиця 2. Сярэднія паказчыкі колькасці  $^{134+137}\text{Cs}$  у сестане і бентасе рыбаводных сажалак рыбгасаў «Белае» і «Лахва» ў 1991—1992 гг. (А, Ки/кг · 10<sup>-9</sup>)

Рыбгас, сажалка	1991 г.					1992 г.				
	сестан (сумарная біямаса, зоа-, фіта-, бактэрыя-планктону)	А (сестан)	КН	А (бентас)	КН	сестан (сумарная біямаса, зоа-, фіта-, бактэрыя-планктону)	А (сестан)	КН	А (бентас)	КН
«Белае»										
Н — Луга-14	44,91	17,15	1665	110,0	10700	24,11	15,4	353	120,0	9700
Н — Луга-15	56,97	15,80	1120	113,0	8000	42,90	13,7	1672	134,0	3070
В — Лісіцкая-3	35,71	21,90	963	233,0	9957	71,02	27,6	1014	210,0	7761
В — Лісіцкая-4	45,90	19,21	1117	148,0	8600	64,66	23,1	1863	164,0	9000
«Лахва»										
Н — Востраў-Чайка	75,98	31,45	1797	188,0	10710	82,58	23,1	1863	215,0	17340
Н — Гурная	63,08	27,80	1418	262,0	13367	33,42	21,4	2100	275,0	26000
Адзяленне Дубрава										
В — 1	72,34	19,6	1734	298,0	26370	42,46	17,5	3571	310,0	63260
В — 2	60,63	21,69	1822	336,0	28235	41,73	16,4	3037	305,0	56480

не залежала не толькі ад узроўню развіцця асноўных груп сестану (фіта-, зоа- і бактэрыяпланктону), але і ўмоў асяроддзя, у прыватнасці ад ступені мінералізацыі вады і канцэнтрацыі ў ёй мікрааналагаў цэзію —  $K$  і  $Na$ . У нагульных сажалках Гурнай і Востраў-Чайка рыбгаса «Ляхва» з высокай мінералізацыяй вады (186,3—212,0 мг/л) і нізкай колькасцю ў ёй калію (2,0—2,2) і натрыю (6,7—7,6 мг/л) у сестане адзначана максімальная колькасць радыецэзію ( $27,14—33,60 \cdot 10^{-9}$  Кн/кг), у той час як у выроставых сажалках аддзялення Дубрава рыбгаса «Ляхва» са значнай ступенню мінералізацыі вады (278,8—321,3 мг/л) і колькасцю  $K$  і  $Na$  6,3—7,6 і 15,1—16,1 мг/л адпаведна назапашванні радыеактыўнага цэзію гідрабіёнтамі было больш нізкім ( $18,2—23,2 \cdot 10^{-9}$  Ки/кг). Атрыманя даныя па назапашванні радыенуклідаў сестанам добра ўзгадняюцца з літаратурнымі [10].

Асобая ўвага была нададзена вывучэнню назапашвання радыецэзію заабентасам — адным з галоўных кампанентаў кармавой базы сажалак. У даследаваных сажалках колькаснае развіццё заабентасу складала  $0,10—4,25$  г/м<sup>2</sup>, або  $50—3050$  экз/м<sup>2</sup>. Асноўная яго біямаса складалася з лічынак хіранамідаў. Невысокія велічыні заабентасу ў сажалках сведчаць пра значнае спажыванне яго карпам. Вядома, што найбольш інтэнсіўна радыенукліды акумуляруюцца грунтамі і арганізмамі, якія жывуць у гэтым асяроддзі [6]. Як паказалі даследаванні, КН заабентасам радыеактыўнага цэзію былі ад 10710 да 17340 (табл. 2). Атрыманя высокія КН  $^{134+137}Cs$  доннымі арганізмамі пацвярджаюць, наколькі небяспечнай робіцца сітуацыя пры поўным пераводзе рыбы са штучнага кармлення на харчаванне прыроднай ежай, асабліва на спажыванне заабентасу.

Узровень забруджання рыбы радыенуклідамі на працягу двух гадоў даследаванняў склаў  $0,23—3,60 \cdot 10^{-9}$  Ки/кг і залежаў ад узросту рыб, віду кармоў (штучныя або прыродныя) і часу вегетацыйнага перыяду. Так, напрыклад, у рыбгасе «Белае» ў выроставых сажалках Лісіцкая-3,4, дзе была найбольш высокая колькасць  $^{134+137}Cs$  у вадзе і грунтах, назапашванні радыенуклідаў сяголеткамі карпа было больш нізкім, чым двухгадавікамі з сажалак Луга-14, 15 і Антонавай. Адзначана, што да заканчэння вегетацыйнага перыяду колькасць радыеактыўнага цэзію ў рыбе ўзрастае на 15—20%.

Адсутнасць у 1992 г. поўнага рацыёну штучных кармоў пры кармленні рыбы і частковы яе пераход на харчаванне прыроднай ежай адбіліся на павелічэнні  $^{134+137}Cs$  у арганізме рыб. Практычна ўся даследаваная рыба сажалкавых гаспадарак мела больш высокія паказчыкі па радыеактыўным цэзіі адносна 1991 г. Хранічная нястача камбікармоў, якая ў цяперашні час існуе ў рэспубліцы, і частковы (30—50%) або поўны перавод рыбы на прыродную ежу несумненна створаць умовы павелічэння забруджання рыбы радыенуклідамі.

Нягледзячы на тое што таварная рыба па колькасці цэзію ў арганізме не выходзіць за межы нарматыву (РБУ — 1992), малыя дозы іанізуючай радыяцыі робяць адмоўны ўплыў на ўзнаўленчую здольнасць рыб і ўстойлівасць іх да захворванняў. Так, γ-актыўнасць малака і ікры вытворнікаў карпа ў рыбгасе «Белае» была на парадак больш высокай, чым у чыстай гаспадарцы «Сялец». Зніжаны рэпрадуктыўныя паказчыкі ў балах малака на 18—20, апладнення ікры — на 20—26, выхаду лічынак ад адной самкі — на 35—38%. Вызначана, што ў патомкаў (рыб) ад вытворнікаў з гаспадаркі «Белае» павышаная частата клетак з аберацыямі храмасомаў 3,1—3,9% (у кантролі 0,5—1,0%), павялічыўся ўзровень марфозаў у лічынак карпа на 6—7%. У забруджаных радыенуклідамі выроставых сажалках частата марфалагічных аномалій (выродлівасцяў) малявак карпа ў 2—10 разоў больш высокая адносна чыстых вадаёмаў. Узровень абертных клетак у рагавіцы вачэй малявак з забруджаных сажалак быў вышэйшы ў 3 разы, выхад малявак карпа панізіўся

на 20—50%. Апрача таго, выяўлена, што рыба ў забруджаных сажалках часцей захворвае.

Такім чынам, праведзеныя даследаванні паказалі, што пры пападанні радыенуклідаў у воднае асяроддзе яны хутка паглынаюцца гідрабіёнтамі і доннымі адкладаннямі, у выніку чаго іх колькасць у вадзе зніжаецца. Пры гэтым канцэнтрацыя радыенуклідаў у водных раслінах, жывёлах і грунтах працяглы час падтрымліваецца на высокім узроўні, які на парадак велічынь перавышае іх колькасць у вадзе. Малыя дозы іанізуючай радыяцыі робяць адмоўнае ўздзеянне на аднаўленчую здольнасць рыбы і яе імуналагічны статус, выклікаюць павелічэнне страты рыбы на лічынкавай стадыі, а пры вырошчванні малявак назіраецца рост захворванняў і выроўдстваў.

### Summary

Effect of Chernobyl fall-out on fish-pond biota in Gomel and Brest regions has been examined.

### Літаратура

1. Алекин О. О., Семейов А. Д., Скопицев Б. А. // Руководство по химическому анализу вод суши. Л.; 1973.
2. Калниня З. К. // Радиоэкология водных организмов. Рига, 1972. Т. 1. С. 27—32.
3. Калниня З. К. // Проблемы радиоэкологии водных организмов. Свердловск, 1971. С. 72—75.
4. Куликов Н. В. Радиоэкология водных организмов. Рига, 1973. С. 83—87.
5. Липин А. Н. Пресные воды и их жизнь. М., 1950.
6. Родионова Л. Ф. // Биологические последствия радиоактивного загрязнения водоемов. М., 1983. С. 16—19.
7. Романенко В. И., Кузнецов С. И. Экология микроорганизмов пресных водоемов. Л., 1974.
8. Тимофеева-Ресовская Е. А. Распределение радиоизотопов по основным компонентам пресноводных водоемов. Свердловск, 1963. Вып. 30.
9. Титлянова А. А., Тимофеева Н. А. // Тр. института биологии УФАИ СССР. Свердловск, 1962. Вып. 22. С. 22—27.
10. Трапезников А. В., Чеботина М. Я., Трапезникова В. Н., Куликов Н. В. // Экология. 1983. № 4. С. 25—30.