

РОЛЬ ФОСФОРА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЫБОВОДЧЕСКИХ ПРУДОВ РЫБХОЗОВ БЕЛАРУСИ

В. Ю. АГЕЕЦ, О. М. ТАВРЫКИНА, Г. П. ВОРОНОВА

*РУП «Институт рыбного хозяйства»,
ул. Стебенева, 22, 220024, г. Минск, Беларусь,
e-mail: belniirh@tut.by*

THE IMPORTANCE OF PHOSPHORUS IN THE SEDIMENTS OF THE FISHPONDES OF BELARUS

U. AHEYETS, O. TAVRYKINA, H. VORONOVA

*RUE "Fish Industry Institute",
22, Stebeneva Str., 220024, Minsk, Belarus,
e-mail: belniirh@tut.by*

Аннотация. Изложены результаты исследований по определению содержания различных форм фосфора в донных отложениях выростных и нагульных рыбоводческих прудов Беларуси, рассчитаны запасы фосфора в рыбоводческих хозяйствах республики, выявлены корреляционные зависимости содержания фосфора и биогенных элементов в донных отложениях.

Ключевые слова: фосфор, донные отложения, рыбоводческие пруды, рыбхозы Беларуси

Abstract. The results of the content of various forms of phosphorus in the bottom sediments of nursery and feeding fish ponds in Belarus are presented, the phosphorus reserves in fish farms of the republic are calculated, correlation dependences of the phosphorus and biogenic elements in the sediments are found.

Keywords: phosphorus, bottom sediments, fishponds of Belarus

Введение. Фосфор является одним из наиболее важных и одновременно наиболее дефицитных элементов питания рыб. Он идет на построение скелета, расходуется в процессе мышечной и нервной деятельности, входит в состав плазмы крови. Кроме этого, он входит в состав сложных белков многих жироподобных веществ и углеводов [1–3]. Фосфор необходим также фитопланктону и бактериопланктону для построения их клеток, и его недостаток отрицательно влияет на их развитие [4]. Наряду с такими

элементами, как азот и кремний, фосфор определяет трофический статус водоемов и лимитирует развитие водной растительности и гидробионтов. Из-за высокой подвижности в прудовой воде фосфор содержится в очень малых концентрациях: в почве водоема площадью 1 га около 100 кг связанного фосфора, тогда как в воде его количество составляет менее 1 % от общего. После внесения фосфорного удобрения в пруды, с доведением концентрации до 0,5 мг/л, спустя сутки в воде остается только 1–2 % минерального фосфора [5].

Донные отложения занимают особое положение в цепи круговорота вещества и энергии в водоеме, являясь одновременно накопителем и внутренним источником химических веществ. В жизни гидробионтов огромное значение играет минеральный фосфор в составе донных отложений [6]. Растворенные в воде минеральные вещества поддерживают у гидробионтов постоянное осмотическое давление, обеспечивающее работу всех внутренних органов. От состава и количества растворенных в воде минеральных солей зависит естественная продуктивность рыбоводческих прудов. Содержание фосфора в пресноводных гидробионтах составляет 0,2–2,0 % на сухое вещество, а степень концентрирования фосфора в организмах достигает 104–105 раз, что приводит к ощутимым изменениям концентрации фосфора в водной толще при относительно небольших изменениях биомассы гидробионтов. Например, при исходной концентрации фосфора в воде 100 мкг Р/л и содержании фосфора в планктоне 1 % образование биомассы в количестве 10 мг/л приводит к полному извлечению растворенных фосфатов [8]. В то же время в донных отложениях остается значительное количество связанного фосфора.

Фосфор в донных отложениях присутствует в различных формах: обменной, сорбированной на оксидах железа и алюминия, органической [8, 9]. Существовая в той или иной форме, фосфор обладает различной степенью активности или подвижности, что определяет его поведение в донных отложениях. Обменный фосфор трансформируется на границе донных отложений и толщи воды. Подвижность других форм фосфора в донных отложениях

обусловливается такими параметрами, как температура, рН, Eh, процессами минерализации органического вещества с участием биоты, реакциями комплексообразования [10].

Донные отложения рыбоводческих прудов Беларуси мало изучены [11, 12]. Отсутствие градации по содержанию фосфора для донных отложений рыбохозяйственных водоемов затрудняет оценку обеспеченности их фосфором, а литературные данные по содержанию этого элемента носят лишь сравнительный характер. В публикации представлены данные по содержанию различных форм фосфора в выростных и нагульных рыбоводческих прудах рыбоводств Беларуси, расположенных в отличающихся климатических зонах и на разных подстилающих породах.

Материалы и методы. Данные по содержанию фосфора в донных отложениях хозяйств республики были получены в рамках республиканского обследования рыбоводческих прудов по заказу Департамента по мелиорации и водному хозяйству Министерства сельского хозяйства и продовольствия. Было обследовано 192 выростных и 169 нагульных прудов, определено содержание валового (общего) и обменного (водорастворимого) фосфора.

Определение содержания валового фосфора проводили по ГОСТ 26261-84 [13], обменного – по ГОСТ 27753.5-88 [14].

Стандартное отклонение (SD) и стандартная ошибка (SE) с уровнем надежности 95 % рассчитаны методом описательной статистики с использованием стандартного программного обеспечения (Microsoft® Excel 2003). Количество образцов (n), использованных для математической обработки, по каждому рыбоводству представлены в таблицах.

Запасы фосфора в верхнем 10-см слое донных отложений прудов рыбоводств были рассчитаны с учетом объемного веса.

Результаты исследований и обсуждения. Донные отложения рыбоводств Беларуси характеризуются разнообразием и пестротой подстилающих пород, обусловленными как естественно-историческими факторами почвообразования, так и хозяйственной деятельностью, которая является преобладающим фактором в их нынешнем состоянии (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Характеристика донных отложений выростных и нагульных прудов рыбхозов Беларуси

Область	Рыбхоз	Донные отложения в прудах	
		Выростные	Нагульные
Брестская	Рыбхоз «Соколово»	Песчаные	Супесчаные
	Опытный рыбхоз «Лахва»	Песчаные	Илистые, песчаные
	Рыбхоз «Локтыши»	Песчаные гумусированные, торфяные	Торфяные
Витебская	Рыбхоз «Новинки»	Песчаные и супесчаные	Песчаные с вкраплениями ила, торфа, торфяные
Гомельская	Рыбхоз «Тремля»	Гумусированный песок, торф	Пески, заторфованные пески, местами торфяные
	Рыбхоз «Белое»	Торфяные с примесью песка	Торфяные
Гродненская	Рыбхоз «Солы»	Песчаные, слабо заиленные	Слабозаиленный песок
Минская	Рыбхоз «Красная Слобода»	Торфяно-болотные	Торфяно-болотные
	Рыбхоз «Альба»	Песок, заиленный песок	Торфяно-болотные
	Рыбокомбинат «Любань»	Супесчаные с незначительным заилением	Супесчаные заиленные, песчано-глинистые, торфяно-илистые
	Рыбхоз «Волма»	Супесчаные, суглинистые	Торфяные
Могилевская	Рыбхоз «Свислочь»	Супесчаные, слегка заиленные	Торфяно-глеевые, торфяные

Как видно из таблицы, основной прудовой фонд республики представлен в основном торфяно-болотными, торфяными, песчаными почвами, в меньшей степени супесчаными и суглинистыми почвами.

В результате длительной эксплуатации прудов при внесении кормов и удобрений, отмирания растительных и животных остат-

ков происходит образование илистого осадка, который смешивается с подстилающей породой, образуя плодородный слой с высоким содержанием биогенных элементов, в том числе и фосфора.

Содержание валового фосфора в выростных прудах рыбоводов республики колебалось от 139 до 6695 мг/кг почвы и в среднем по республике составило 945 мг/кг (табл. 2). Наименьшим содержанием валового фосфора характеризовались выростные пруды Гродненской области – в среднем 482 мг/кг, наибольшим – 1177 мг/кг пруды Минской области. Содержание валового фосфора в рыбоводческих прудах Витебской области составило 1083 мг/кг, Могилевской – 879 мг/кг, Брестской – 806 мг/кг и Гомельской – 760 мг/кг.

В нагульных рыбоводческих прудах содержание валовой формы фосфора было ниже, чем в выростных прудах и составило от 92 до 2792 мг/кг, а в среднем по республике – 631 мг/кг (табл. 2). Это связано, прежде всего, с тем, что нагульные пруды менее удобряются, характеризуются повышенным потреблением питательных элементов из-за высокой плотности посадки рыбы. Наибольшее содержание валового фосфора в нагульных прудах отмечается в рыбоводах Брестской и Минской областей – 718 и 701 мг/кг соответственно, наименьшее – 284 мг/кг в Могилевской области.

Т а б л и ц а 2. Среднее содержание валового фосфора в нагульных и выростных прудах рыбоводческих хозяйств республики по областям

Показатель	Брест- ская обл.	Витеб- ская обл.	Гомель- ская обл.	Гроднен- ская обл.	Минская обл.	Могилевская обл.	Республика Беларусь
<i>Содержание валового фосфора в выростных прудах, P₂O₅, мг/кг</i>							
Среднее	806	1083	760	482	1177	879	945
Минимум	139	149	143	368	186	320	139
Максимум	6695	2740	3667	654	5265	1548	6695
n	84	22	22	3	61	6	192
SE	94,2	139,3	151,2	87,4	117,1	192,5	61,4
SD	863,5	653,5	709,3	151,4	914,7	471,5	851,1

Показатель	Брест- ская обл.	Витеб- ская обл.	Гомель- ская обл.	Гроднен- ская обл.	Минская обл.	Могилевская обл.	Республика Беларусь
Содержание валового фосфора в нагульных прудах, P_2O_5, мг/кг							
Среднее	718	528	424	562	701	284	631
Минимум	92	390	166	357	151	232	92
Максимум	2792	696	1058	1021	2691	372	2792
n	64	7	32	5	56	5	169
SE	76,6	36,5	43,4	118,6	82,6	23,9	47,3
SD	612,7	96,7	245,4	265,1	618,3	53,5	502,5

В качестве сравнения полезно привести данные по содержанию фосфора в пахотных почвах. Так, содержание валового фосфора в разных типах пахотных почв колеблется от 100 до 3500 мг/кг, в низинных торфяно-болотных почвах – от 2900 до 6700 мг/кг, на дерново-подзолистых пылевато-, легко- и среднесуглинистых почвах – 1380–1600 мг/кг, легкосуглинистых, развивающихся на моренном суглинке – 900–1320 мг/кг, супесчаных, подстилаемых моренным суглинком – 640–1210 мг/кг, песчаных – 560–800 мг/кг [13].

Следует отметить, что рыбоводческие пруды характеризовались значительными различиями в содержании валового фосфора, которые в выростных прудах достигали 28–48 раз, в нагульных – до 30 раз, что, несомненно, не может не оказывать влияния на рыбопродуктивность прудов. Фосфор связан с развитием и жизнедеятельностью рыб и от его подвижности и способности перехода из донных отложений в воду в значительной мере зависит и биологическая продуктивность самого водоема.

Небольшая часть валовых запасов минерального фосфора переходит в доступную для гидробионтов водорастворимую форму. В результате анализа содержания обменного фосфора в донных отложениях было выявлено, что в выростных прудах среднее содержание составило соответственно по областям: Могилевская – 9,2, Минская – 5,7, Брестская – 5,0, Витебская – 3,8, Гродненская – 2,9 мг/кг. В среднем по республике – 5,1 мг/л (табл. 3).

**Т а б л и ц а 3. Среднее содержание водорастворимого фосфора
в нагульных и выростных прудах рыбоводческих хозяйств
республики по областям**

Показатель	Брест- ская обл.	Витеб- ская обл.	Гомель- ская обл.	Гроднен- ская обл.	Минская обл.	Могилев- ская обл.	Республика Беларусь
<i>Содержание водорастворимого фосфора в выростных прудах, P₂O₅ мг/кг</i>							
Среднее	5,0	3,8	5,1	2,9	5,7	9,2	5,1
Минимум	0,77	0,9	1,6	1,8	1,2	5,2	0,77
Максимум	31,8	11,4	14,7	4,8	19,7	12,7	31,8
n	84	22	22	3	61	6	192
SE	0,51	0,61	0,60	0,96	0,54	1,21	0,30
SD	4,66	2,88	2,80	1,66	4,24	2,92	4,16
% к валовому	0,1–4,0	0,1–3,6	0,2–2,2	0,4–0,7	0,1–2,5	0,7–1,9	0,1–4,0
<i>Содержание водорастворимого фосфора в нагульных прудах, P₂O₅ мг/кг</i>							
Среднее	6,3	2,7	5,9	3,4	4,2	4,4	5,2
Минимум	0,83	1,7	2,0	2,2	1,6	3,5	0,83
Максимум	94,9	3,4	27,7	5,43	22,4	5,4	94,9
n	64	7	32	5	56	5	169
SE	1,51	0,27	0,83	0,71	0,43	0,40	0,88
SD	11,9	0,71	4,70	1,61	3,20	0,89	9,33
% к валовому	0,1–7,7	0,3–0,9	0,3–8,0	0,2–1,1	0,1–4,0	1,0–2,0	0,1–8,0

Результаты анализа показывают, что водорастворимых солей фосфора в донных отложениях содержится крайне незначительное количество, и они составили всего 0,1–4,0 % от валового фосфора.

В нагульных рыбоводческих прудах содержание водорастворимого фосфора составило: в Брестской области – 6,3 мг/кг, в Гомельской – 5,9, в Могилевской – 4,4, в Минской – 4,2, в Гродненской – 3,4, в Витебской – 2,7 мг/л, в среднем по республике – 5,2 мг/л (табл. 3). По отношению к содержанию общего фосфора они составили 0,1–8,0 %.

По данным Е. И. Третьяковой с соавторами [16], содержание обменного водорастворимого фосфора в донных отложениях также было незначительным и составило в среднем 1–2 % во все периоды наблюдения. Изменение величины рН в придонном слое

или непосредственно в донных отложениях может вызвать значительный поток фосфора в толщу воды. Наиболее мощный его выход будет наблюдаться в случае изменения рН в сторону щелочной среды, так как содержание фосфора в щелочнорастворимой форме самое высокое.

Содержание валового и водорастворимого фосфора существенно различается по хозяйствам республики (табл. 4). Наиболее высокие значения валового фосфора отмечены в выростных прудах РУП «Полоцкое ПМС «Участок рыбного хозяйства» – 1837 мг/кг, рыбхоза «Селец» – 1175 мг/кг, рыбокомбината «Любань» – 1409 мг/кг, рыбхоза «Альба» – 1267 мг/кг.

Т а б л и ц а 4. Содержание фосфора в донных отложениях выростных и нагульных прудов рыбоводческих хозяйств Беларуси

Область	Рыбхоз	Выростные		Нагульные	
		$P_2O_{5вал}^?$ мг/кг	$P_2O_{5водн}^?$ мг/кг	$P_2O_{5вал}^?$ мг/кг	$P_2O_{5водн}^?$ мг/кг
Брестская	Опытный рыбхоз «Селец»	1175	9,8	780	10,0
	Рыбхоз «Днепробугский»	342	4,1	330	6,0
	Рыбхоз «Соколово»	349	4,7	383	4,9
	Рыбхоз «Полесье»	727	3,9	588	3,1
	Опытный рыбхоз «Ляхва»	696	3,3	940	3,5
	Рыбхоз «Локтыши»	424	4,9	994	5,1
Витебская	Чашникская ПМК мелиоводхоз	1075	1,4	–	–
	РУП «Полоцкое ПМС «Участок рыбного хозяйства»	1837	6,4	–	–
	Рыбхоз «Новинки»	671	4,6	528	2,7
Гомельская	Рыбхоз «Тремля»	428	4,8	287	7,8
	Рыбхоз «Белое»	644	5,5	1073	5,2
Гродненская	Рыбхоз «Солы»	532	3,2	–	–
Минская	Рыбхоз «Красная Слобода»	932	5,9	399	3,6
	Рыбхоз «Альба»	1267	2,3	1899	2,7
	Рыбокомбинат «Любань»	1409	7,9	557	7,2
	Рыбхоз «Волма»	1112	2,0	612	3,3
	Рыбхоз «Грицево»	–	–	504	2,7
Могилевская	Рыбхоз «Свислочь»	879	9,4	284	4,4

Содержание фосфора в нагульных прудах отдельных рыбхозов также было высоким и составило в рыбхозе «Альба» – 1899 мг/кг, в рыбхозе «Белое» – 1073 мг/кг, в рыбхозе «Локтыши» – 994 мг/кг.

Наибольшее содержание водорастворимого фосфора в выростных прудах наблюдалось в рыбхозах «Селец» и «Свислочь» – 9,8 и 9,4 мг/кг соответственно, в нагульных – в рыбхозе «Селец» – 10,0, рыбхозе «Тремля» – 7,8, на рыбокомбинате «Любань» – 7,2 мг/кг.

По данным авторов [17], содержание общего фосфора в твердой фазе поверхностного слоя донных отложений составляло от 0,016 до 0,336 % (от веса сухого осадка), неорганического – от 0,013 до 0,252 %, а органического – от 0,003 до 0,089 %. Доля органического фосфора не превышало 44 %, составляя в среднем 20–35 %. Прослеживается четкая тенденция увеличения содержания форм фосфора от грубодисперсных осадков к тонкодисперсным. По данным других авторов, содержание общего фосфора в иловых прудовых отложениях может достигать от 0,33 до 1,79 % от сухого веса золы и носит ярко выраженный зональный характер [2].

Запасы фосфора по хозяйствам республики составили от 3,1 ц/га (рыбхоз «Локтыши») до 14,3 ц/га (рыбхоз «Альба») в выростных прудах и от 1,4 ц/га (рыбхоз «Красная Слобода») до 9,8 ц/га (рыбхоз «Белое») (рис. 1). Содержание общего фосфора в прудах большинства рыбхозов находилось в пределах для выростных – 5–7 ц/га, достигая в отдельных прудах 14 ц/га, для нагульных – 3–5 ц/га, достигая 9 ц/га.

По данным Т. Н. Кулаковской [18], валовый запас P_2O_5 в торфяно-болотных почвах Беларуси составил 2,5–3,0 ц/га. Анализ результатов наших данных показал, что содержание фосфора в донных отложениях рыбоводческих прудов оказалось гораздо выше этих значений.

Различия между прудами по запасам фосфора в донных отложениях были значительными – до 4,5–7,0 раз. Рыбхозам республики необходимо учитывать эти данные при проведении интенсификационных мероприятий на прудах.

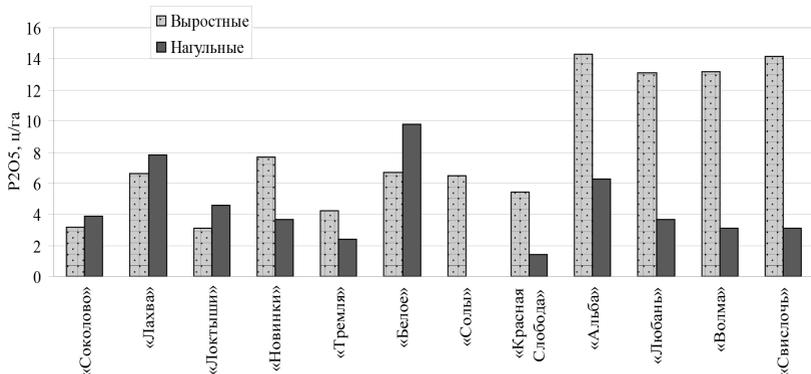


Рис. 1. Запасы фосфора в донных отложениях выростных и нагульных прудов рыбхозов Беларуси

Корреляционный анализ содержания валового фосфора в донных отложениях и биогенных элементов показал наличие тесной зависимости с содержанием в донных отложениях азота ($r = 0,82$), гумуса ($r = 0,80$), кальция ($r = 0,76$), железа ($r = 0,71$) и магния ($r = 0,67$) (табл. 5).

Таблица 5. Корреляционная зависимость содержания валового фосфора от содержания биогенных элементов в донных отложениях рыбоводческих прудов Беларуси ($n = 361$)

Показатель	Коэффициент корреляции
1. N*	0,82
2. гумус	0,80
3. Ca*	0,76
4. Fe*	0,71
5. Mg*	0,67

* – водорастворимые формы.

При достаточно большой величине первичной продукции в водоемах и, следовательно, высоком содержании органического вещества в поступающем на дно осадочном материале донные отложения с восстановительной реакцией могут быть мощным источником растворенного фосфора. Следствием этого является

прямая корреляция концентраций растворенного фосфора и содержания гумуса и азота [7]. Помимо деструкции органического вещества, важную роль играют реакции восстановления фосфатов и фосфорсодержащих гидроксидов железа (III), которые высвобождают фосфор при переходе железа в двухвалентное состояние [7].

Увеличение концентрации растворенных кальция и железа, в меньшей степени магния сопровождалось повышением содержания фосфора, что подтверждается наличием корреляционной зависимости и свидетельствует об общем характере миграции и осаждения соединений этих элементов.

Результаты наших исследований согласуются с результатами других авторов в том, что основными химическими формами нахождения фосфора в донных отложениях озер и водохранилищ, помимо органических веществ, являются фосфаты кальция, железа и алюминия [19–21].

Закключение. Таким образом, в донных отложениях рыбководческих прудов Беларуси находится значительная часть фосфора. В среднем по областям содержание валового фосфора в выростных прудах составило: Минская – 1177 мг/кг, Витебская – 1083 мг/кг, Могилевская – 879 мг/кг, Брестская – 806 мг/кг, Гомельская – 760 мг/кг, Гродненская – 482 мг/кг, по республике – 945 мг/кг; в нагульных прудах: Брестская – 718 мг/кг, Минская – 701 мг/кг, Гродненская – 562 мг/кг, Витебская – 528 мг/кг, Гомельская – 424 мг/кг, Могилевская – 284 мг/кг, по республике – 631 мг/кг. Содержание водорастворимой формы фосфора составляло 0,1–8,0 % от валовой. Различия между прудами по содержанию фосфора достигали в выростных системах 28–48 раз, в нагульных – до 30 раз.

Запасы фосфора в прудах большинства рыбхозов находились в пределах для выростных – 5–7 ц/га, достигая в отдельных прудах 14 ц/га, для нагульных – 3–5 ц/га, достигая 9 ц/га.

Были получены тесные корреляционные зависимости между содержанием общего фосфора и содержанием в донных отложениях азота ($r = 0,82$), гумуса ($r = 0,80$), кальция ($r = 0,76$), железа ($r = 0,71$) и магния ($r = 0,67$).

Для формирования естественной рыбопродуктивности прудов требуется дальнейшее изучение фосфатного режима донных отложений, включающие другие формы фосфатов, изучение группового и фракционного состава, позволяющие определить степень обеспеченности этим элементом и доступности его для гидробионтов и водной растительности.

Выявление значительных различий в содержании фосфора в донных отложениях рыбоводческих прудов создают предпосылки в необходимости их дифференциации по этому элементу и дальнейшему картированию прудов рыбоводческих хозяйств республики.

Список использованных источников

1. Мартышев, Ф. Г. Прудовое рыбоводство / Ф. Г. Мартышев. – М., 1973. – 428 с.
2. Привезенцев, Ю. А. Рыбоводство / Ю. А. Привезенцев, В. А. Власов. – М. : Мир, 2004. – 456 с.
3. Чижик, А. К. Прудовое рыбоводство / А. К. Чижик, И. М. Шерман. – Симферополь : Таврия, 1985. – 207 с.
4. Ходоровская, Н. И. Исследование влияния концентраций кремния и фосфора на развитие диатомовой микрофлоры водоема / Н. И. Ходоровская, М. В. Стурова // Изв. Челябин. науч. центра. – 2002. – Т. 15, вып. 2. – С. 50.
5. Мамонтов, Ю. П. Методы повышения эффективности прудового рыбоводства : произв.-практ. издание / Ю. П. Мамонтов [и др.]. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. – 148 с.
6. Ларина, Н. С. Донные отложения как объект мониторинга состояния водоема / Н. С. Ларина, С. С. Масленникова, С. Г. Беспоместных // Экоаналитика – 2011 : тез. докл. VIII Всеросс. конф. по анализу объектов окружающей среды и Шк. молодых ученых, посвящ. 300-летию со дня рожд. М. В. Ломоносова, 26 июня – 2 июля 2011 г. – Архангельск, 2011. – С. 163.
7. Мужа, В. М. Азот и фосфор в донных отложениях озер и водохранилищ / В. М. Мужа, А. Г. Кочарян. – М. : Наука, 1984. – 158 с.
8. Karanen, G. Phosphorus fractionation in lake / G. Karanen // *Estonian Journal of Ecology*. – 2008. – Vol. 57, № 4. – P. 245.
9. Vertical distribution of phosphorus species and Библиографический список iron in sediment at open sea in the middle Adriatic region / S. Matijevic [et al.] // *Acta Adriat.* – 2008. – Vol. 49. – P. 166.
10. Lehtoranta, J. Benthic phosphorus release from sediment to water / J. Lehtoranta // *Research Program for the Protection of the Baltic Sea*. – Helsinki, Finland. – P. 4.

11. Цыганков, И. В. Почвенное обследование прудов и гидрохимического режима водоисточников рыбхозов БССР / И. В. Цыганков // Отчет по теме № 51; рукоп. фонды РУП «Институт рыбного хозяйства». – Минск, 1979. – 164 с.
12. Воронова, Г. П. Агрохимическая характеристика грунтов рыбоводческих прудов отдельных хозяйств Беларуси / Г. П. Воронова, Л. А. Куцко, В. В. Супранович // Вопр. рыб. хоз-ва Беларуси: сб. науч. тр. – Вып. 28. – Минск, 2012. – С. 59–66.
13. ГОСТ 26261-84. Почвы. Методы определения валового фосфора и валового калия. – Москва. – 11 с.
14. ГОСТ 27753.5-88. Грунты тепличные. Метод определения водорастворимого фосфора. – Москва. – 4 с.
15. Агрохимия / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск : Ураджай, 1995. – 480 с.
16. Третьякова, Е. И. Фосфор в донных отложениях водных экосистем / Е. И. Третьякова, Е. Г. Ильина, Е. В. Бурлуцкая // Изв. Алтайск. гос. ун-та. – 2010. – С. 182–185.
17. Игнатьева, Н. В. Фосфор в донных отложениях и фосфорный обмен на границе раздела вода–дно в Ладожском озере: автореф. диссерт. ... канд. биол. наук / Н. В. Игнатьева. – СПб., 1997. – 25 с.
18. Кулаковская, Т. Н. Валовый запас питательных веществ в почвах Белорусской ССР / Т. Н. Кулаковская // Почвы Белорусской ССР. – Минск, 1974. – С. 272–275.
19. Третьякова, Е. И. Изучение факторов, влияющих на содержание фосфора в донных отложениях Новосибирского водохранилища / Е. И. Третьякова, Е. Г. Ильина, Е. В. Бурлуцкая // Изв. Алтайск. гос. ун-та. – 2012. – С. 168–173.
20. Акимов, В. А. Содержание различных форм азота и фосфора в воде нагульных прудов / В. А. Акимов // Сборник по прудовому рыбоводству. – М.: Изд-во ВНИРО, 1969. – С. 38–44.
21. Белкина, Н. А. Распределение форм фосфора в донных отложениях как показатель эвтрофирования экосистемы большого водоема (на примере Ладожского и Онежского озер) / Н. А. Белкина, О. Сандман, Н. В. Игнатьева // Экологическая химия. – 2006. – № 15 (3). – С. 174–185.