

Е.И. Третьякова, Е.Г. Ильина, Е.В. Бурлуцкая

Изучение факторов, влияющих на содержание фосфора в донных отложениях Новосибирского водохранилища*

E.I. Tretyakova, E.G. Ilyina, E.V. Burlutskaya

A Study on Factors Affecting the Phosphorus' Content in Bottom Sediments in the Novosibirsk Reservoir

Статья посвящена изучению различных факторов, влияющих на накопление фосфора в донных отложениях Новосибирского водохранилища. По результатам исследований выявлено, что на содержание фосфора оказывают влияние тип донных отложений, их окислительно-восстановительные условия, содержание железа и кальция.

Ключевые слова: донные отложения, накопление фосфора, окислительно-восстановительные условия.

Article is devoted to the studying various factors affecting phosphorus accumulation in sediments in the Novosibirsk reservoir. According to the research it is revealed that phosphorus' content in the sediments depends on their type, red-ox conditions, iron and calcium content.

Key words: bottom sediments, phosphorus accumulation, red-ox conditions.

Изучение процессов обмена химических компонентов между толщей воды и донными отложениями (ДО) – комплексная задача, связанная с вторичным загрязнением воды загрязняющими веществами ДО. В настоящее время исследование этих процессов осуществляется различными методами: математического моделирования [1, с. 351; 2, с. 1085], проведения эксперимента *in site* [3, с. 506], лабораторного моделирования [4 ; 5, с. 5].

Фосфор – один из основных биогенных элементов, определяющих трофический статус водоемов в плане эвтрофикации поверхностных вод [6, с. 141].

Согласно литературным данным на накопление фосфора в ДО оказывают влияние множество факторов, которые можно разделить на три основные группы: физические, химические и биологические. К физическим факторам относятся температура, фракционный состав ДО, перемешивание, седиментация, сорбционные процессы [7, с. 54; 8, с. 1204; 9, с. 51]. Химические факторы – это изменение pH, окислительно-восстановительные процессы, реакции комплексообразования, процессы деструкции органического вещества [10, с. 6; 11, с. 1]. К биологическим факторам относятся процессы биотурбации, биоирригации, бентосной минерализации органического вещества и т.д. [12, с. 36; 13, с. 572; 14, с. 587].

Цель нашей работы – изучение химических факторов, влияющих на содержание фосфора в природных ДО.

Объектом наших исследований выбрано Новосибирское водохранилище, характеризующееся не-

однородностью морфологии дна и, следовательно, присутствием в нем различных типов донных осадков. Описание точек отбора и характеристика донных отложений представлены в таблице 1. Отбор проб донных отложений проводили в июле и сентябре 2010 г. во время экспедиционных работ Института водных и экологических проблем (ИВЭП) СО РАН.

Донные отложения отбирали дночерпателем Петерсена на глубину до 10 см от поверхности их залегания и помещали в пластиковые контейнеры, заполненные инертным газом (аргон). Сразу же на месте отбора проб определяли значения окислительно-восстановительного потенциала (Eh) **потенциометрическим** методом [15, с. 42].

В лаборатории донные отложения высушивали при комнатной температуре, растирали до однородной массы и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм. Определение общего фосфора проводили методом термического окисления проб ДО персульфатом аммония в сернокислой среде [16, с. 83].

Содержание $C_{орг}$ определяли методом бихроматного окисления согласно методике [16, с. 50], кальций титриметрически по методике [17]. Определение железа проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием пламенного варианта атомизации [18].

Для изучения факторов, влияющих на содержание фосфора в донных отложениях, были исследованы: тип ДО, их окислительно-восстановительные условия, содержание в них органического вещества, железа и кальция.

Таблица 1

Характеристика точек отбора и донных отложений Новосибирского водохранилища

Номер точки	Название створа	Донные отложения		
		Июнь	Август	Сентябрь
1.1	Камень-на-Оби, левый берег	песок	песок	песок
1.2	Камень-на-Оби, середина	песок	песок	песок
1.3	Камень-на-Оби, правый берег	песок	песок	песок
3.2	Малетино, середина	песок	песок	заиленный песок
4.2	Чингиз – Спирино, середина	заиленный песок	заиленный песок	ил рыжий с примесью песка
5.1	Нижнекаменка – Ордынское, левый берег	ил с серым песком	ил с серым песком	ил темно-серый
5.2	Нижнекаменка – Ордынское, середина	ил серый	ил серый	ил серый
5.3	Нижнекаменка – Ордынское, правый берег	ил серый	песок	ил темно-серый
6.1	Быстровка – Боровое, левый берег	ил темно-серый	песок слабо заиленный	ил серый с рыжим наилком
6.2	Быстровка – Боровое, середина	ил темно-серый	песок слабо заиленный	ил серый с рыжим наилком
6.3	Быстровка – Боровое, правый берег	ил серый с желтым наилком	ил серый с желтым наилком	ил серый с рыжим наилком
7.1	Сосновка – Ленинское, левый берег	ил желтый	ил желтый	ил бурый с мелким песком
7.2	Сосновка – Ленинское, середина	ил жидкий серый	ил жидкий серый	ил жидкий серый
7.3	Сосновка – Ленинское, правый берег	песок	ил с песком	ил с песком

Анализ полученных данных (табл. 2) показывал, что содержание фосфора в ДО существенно зависит от их типа. Концентрации фосфора в иловых донных отложениях в среднем оказалась в 3 раза выше, чем содержание в отложениях с песочной фракцией (рис. 1). Причем такая зависимость прослеживалась в любой период наблюдения. Это связано с тем, что иловые отложения, представленные тонкой мелкодисперсной фракцией, обладают большей сорбционной способностью по сравнению с песками.

Влияние окислительно-восстановительных условий ДО на содержание фосфора характеризуется значительным повышением его концентраций в восстановительных условиях (рис. 2), что связано с его накоплением в результате образования фосфорорганических соединений в анаэробных условиях. Такое накопление подтверждает и рассчитанный коэффициент корреляции 0,89 (рис. 3) между содержанием фосфора и $C_{орг}$.

Железо и фосфор в донных отложениях также соотносятся с коэффициентом корреляции 0,85 (рис. 4). Этот факт объясняется тем, что фосфор

в ДО сорбируется развитой поверхностью гидроксида железа. Связанный с железом фосфор является одной из основных форм его нахождения в ДО [19, с. 245; 20, с. 483].

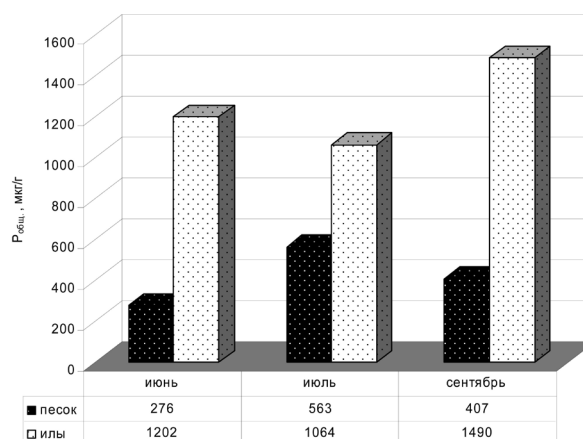


Рис. 1. Содержание $P_{общ.}$ в ДО различного типа

Результаты анализа донных отложений Новосибирского водохранилища

Точка отбора	Глубина, h	Eh, mV	Робщ., мг/г	Сорг, мг/г	Ca, мкг/г	Fe, мг/г
июнь						
1.1	4,0	238	0,26	0,46	71	15,3
1.2	4,1	238	0,22	0,25	24	7,81
1.3	3,5	259	0,27	0,55	35	14,9
3.2	5,4	285	0,36	0,31	38	9,89
4.2	4,6	242	1,33	4,27	40	29,0
5.1	3,4	-34	0,40	22,2	60	25,1
5.2	3,4	-100	0,66	18,2	99	40,2
5.3	6,9	-142	1,35	9,24	71	29,0
6.1	5,5	-42	1,54	42,9	124	37,5
6.2	7,3	-15	0,78	33,2	59	22,5
6.3	9,0	-100	1,55	19,7	99	52,2
7.1	4,5	-85	0,49	0,94	41	9,63
7.2	11,5	-105	2,53	36,5	88	49,8
7.3	2,2	130	1,53	3,45	30	10,2
август						
1.1	2,9	201	0,63	0,40	26	17,7
1.2	1,9	227	0,66	0,40	25	7,75
1.3	6,0	215	0,064	0,12	19	19,6
3.2	5,8	136	0,90	1,22	64	61,4
4.2	4,6	44,7	1,53	9,84	71	61,3
5.1	3,0	176	0,46	5,68	45	23,5
5.2	5,0	-207	2,03	30,7	74	44,3
6.1	2,6	190	0,17	0,74	23	39,9
6.2	6,9	141	0,17	4,16	25	16,2
6.3	7,0	-195	1,17	26,2	61	36,8
7.1	3,4	71,1	1,32	9,15	89	33,5
7.2	12,5	-184	1,31	43,4	39	48,1
7.3	17,0	-175	1,42	31,7	89	45,4
сентябрь						
1.1	2,0	183	0,46	0,48	22,5	11,9
1.2	3,9	189	0,27	0,064	16,3	10,6
3.2	4,5	171	0,50	2,28	43,8	14,2
4.2	6,7	134	0,94	8,79	61,4	28,2
5.1	6,0	-213	1,28	13,7	73,9	18,4
5.2	4,7	-217	1,92	31,0	61,4	43,6
5.3	3,5	-137	1,46	15,8	67,6	40,5
6.1	6,0	-108	1,36	25,7	93,9	30,7
6.2	9,0	-185	1,68	29,2	42,6	39,2
6.3	8,5	-204	1,62	34,4	63,9	52,7
7.1	4,2	41,5	1,44	14,0	93,9	36,6
7.2	12,2	-200	1,79	44,0	76,4	33,1
7.3	13,2	-165	1,39	14,0	99	27,0

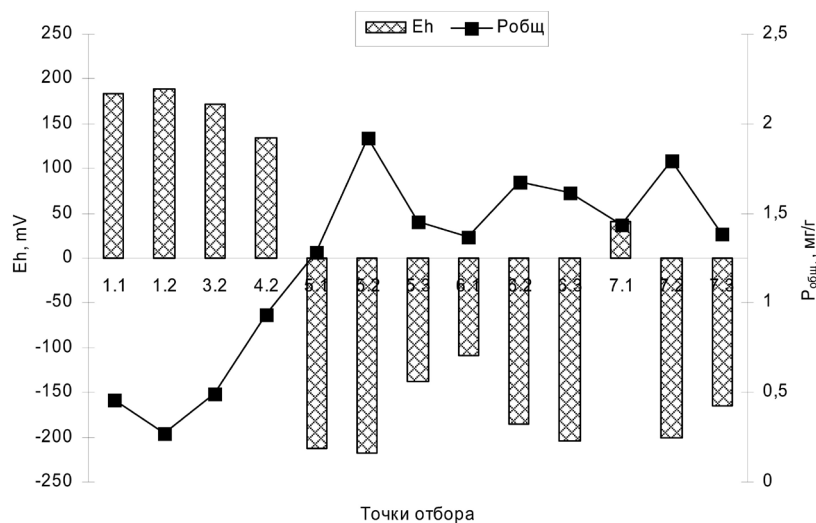


Рис. 2. Изменение содержания $P_{\text{общ}}$ в зависимости от окислительно-восстановительных условий ДО

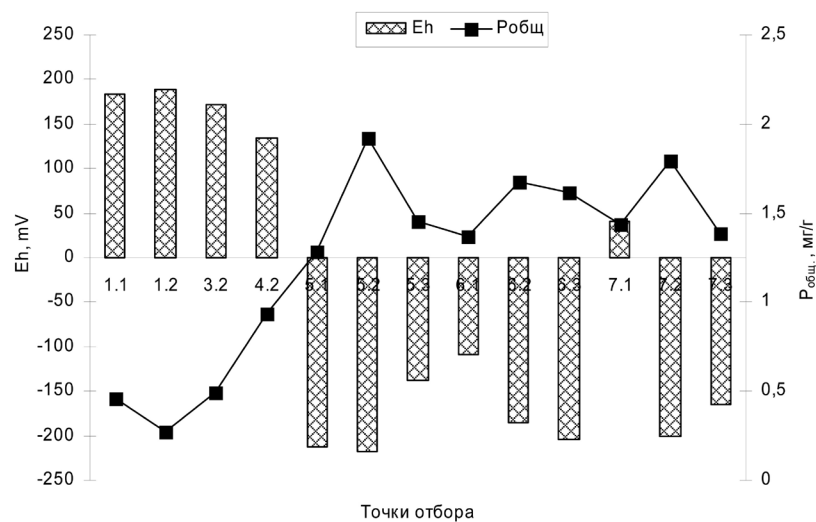


Рис. 3. Изменение содержания $P_{\text{общ}}$ в зависимости от содержания $C_{\text{орг}}$ в донных отложениях ($r^2 = 0,89$)

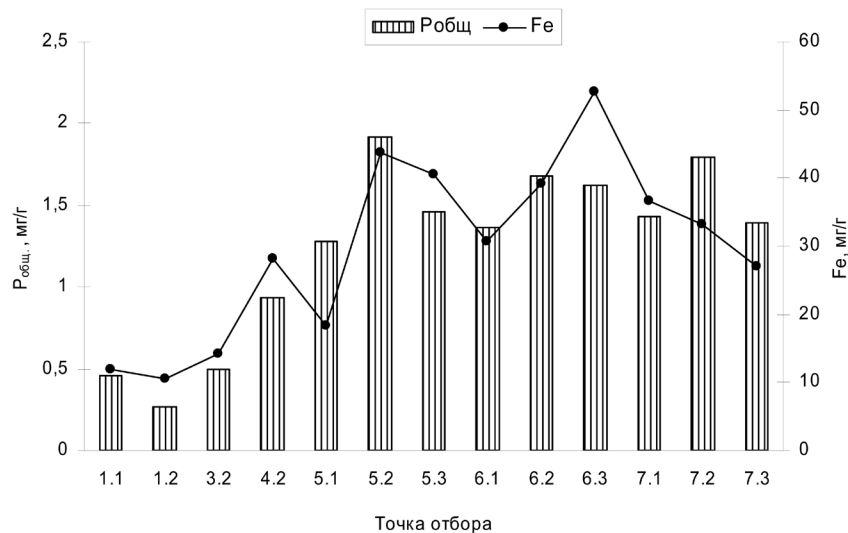


Рис. 4. Изменение содержания $P_{\text{общ}}$ в зависимости от содержания Fe в донных отложениях ($r^2 = 0,85$)

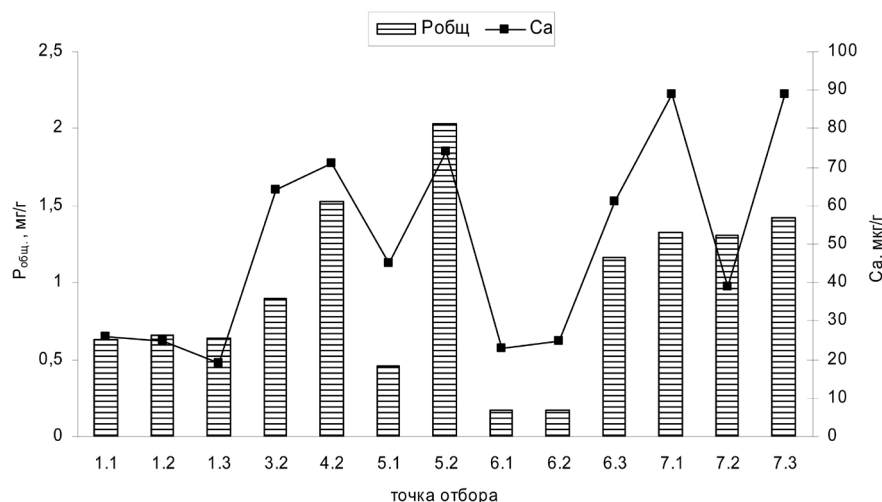


Рис. 5. Изменение содержания $P_{\text{общ}}$ в зависимости от содержания Ca в донных отложениях ($r^2 = 0,78$)

Кальций и фосфор в ДО также статистически характеризовались прямой линейной корреляцией с коэффициентом 0,78 (рис. 5). Очевидно, накопление фосфора в ДО Новосибирского водохранилища происходит за счет образования его малорастворимых соединений с кальцием.

Выводы:

1. Содержание фосфора в ДО зависит от их гранулометрического состава: $P_{\text{общ}}$ в песчаных

фракциях в 3 раза ниже, чем в иловых отложениях.

2. В восстановительных условиях в ДО определено большое количество фосфора вследствие образования фосфорорганических соединений.

3. Накопление фосфора в ДО Новосибирского водохранилища обусловлено хемосорбцией гидроксидом железа и образованием малорастворимых соединений фосфора с кальцием.

Библиографический список

1. Ishikawa M., Nishimura H. Mathematical model of phosphate release rate from sediments considering the effect of dissolved oxygen in overlying water // *Water Res.* – 1989. – №23.
2. Bryhn A.C., Hakanson L.A. Comparison of Predictive Phosphorus Load-Concentration Models for Lakes // *Ecosystems.* – 2007. – №10.
3. Vidal M., Martinengo J., Camp J.. Sediment-water nutrient fluxes: preliminary results of in situ measurements in Alfaques Bay, Ebro River Delta // *Scientia Marina.* – 1989. – Vol. 53. – №2–3.
4. Liu S.M., Zhang J., Jiang W.S. Pore water nutrient regeneration in shallow coastal Baha'i Sea, China // *Journal of Oceanography.* – 2003. – Vol. 59.
5. Isazadeh S., Tajrishy M., Nazari M., Abrishamchi A. A Laboratory Study of Sediment Phosphorus Flux in the Larian Dam Reservoir. ASCE. Alaska, 2005.
6. Хендерсон-Селлерс Б., Марклэнд Х.Р. Умирающие озера. Причина и контроль антропогенного эвтрофирования / пер. с англ. под ред. К.Я. Кондратьева и Н.Н. Филатова. – Л., 1990.
7. Lee H.K., Choi E., Stenstrom M.K. Sediment characteristics, phosphorus type and phosphorus release rates between river and lake sediments // *Chemosphere.* – 2003. – №50.
8. Murphy T., Lawson A., Kumagai M., Nalewaiko C. Release of phosphorus from sediment in Lake Biwa // *Limnol.* – 2001. – Vol. 2. – №2.
9. Sobczyński T. The effects of abiotic conditions on release of biogenic substances from bottom sediments // *International Journal of Oceanography and Hydrobiology.* – 2009. – Vol. XXXVIII. – №1.
10. Matuszewska K., Bialkowska I., Bolalek J. Interdependence between phosphorus forms in sediments and iron in interstitial waters in the Gulf of Gdansk // *International Journal of Oceanography and Hydrobiology.* – 2003. – Vol. XXXII. – №1.
11. Sobczyński T., Joniak T. Vertical and spatial differentiation of phosphorus content in bottom sediments of deep eutrophic lake in relation to organic matter concentration // *Teka Kom. Ochr. Kszt. Środ. Przynr.* – OL PAN. – 2008. – 5A.
12. Pratihary A.K. Benthic Exchange of Biogenic elements in the Estuarine and near shore waters of western India // Ph.D. thesis, Mangalore University-National Institute of Oceanography. – Goa, India, 2008.
13. The Oceanic Phosphorus Cycle // *Chemical Reviews.* – 2007. – Vol. 107. – №2.
14. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: сб. научн. тр. – Вып. 15. – Севастополь, 2007.

15. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л., 1977.

16. Методы исследования органического вещества в океане / под ред. Е.А. Романкевича. – М., 1980.

17. ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.34-02. Методика выполнения измерений содержания кальция и магния в твердых и жидких отходах производства и потребления, осадках, шламах, активном иле, донных отложениях комплексометрическим методом с трилоном Б. – Введ. 2002-06-03. – М., 2002.

18. ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.36-02. Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка,

свинца, никеля, марганца, кадмия и хрома в почвах, донных отложениях, осадках сточных вод и отходах методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии. Введ. 2002-01-02. – М., 2002.

19. Kapanen G. Phosphorus fractionation in lake sediments // Estonian Journal of Ecology. – 2008. – Vol. 57. – №4.

20. Eijsink L.M., Krom M.D, Herut B. Speciation and burial flux of phosphorus in the surface sediments of the Eastern Mediterranean // American Journal of Science. – 2000. – Vol. 300.