

УДК 627.8

К ВОПРОСУ О ЛИКВИДАЦИИ ВОДОХРАНИЛИЩ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ИХ ЛОЖА И БЕРЕГОВОЙ ПОЛОСЫ

Сообщение 2. Основные закономерности заиления малых
водохранилищ и прудов. Водно-физические и агрохимические
свойства их донных отложений

© 2012 г. А.Н. Попов¹, В.И. Штыков²

¹ ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования
и охраны водных ресурсов», г. Екатеринбург

² Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения,
Санкт-Петербург

Ключевые слова: пруд, водохранилище, седиментация, взвешенные вещества, донные отложения, переработка, сортировка, вынос, органические вещества, минеральный состав, объемная масса.



А.Н. Попов



В.И. Штыков

Рассмотрены основные закономерности процесса заиления водохранилищ, выделены его особенности для малых и средних водоемов и основные процессы формирования состава донных отложений, их водно-физические и агрохимические свойства.

В общем виде схема осадкообразования в водохранилищах включает следующие процессы [1, 2]:

- поступление седиментационного материала с водосбора (аллохтонное вещество);
- образование седиментационного материала в водоеме (автохтонное вещество);

Водное хозяйство России № 5, 2012

Водное хозяйство России

- транспорт взвешенных веществ в водоеме, их переработка, сортировка, осаждение и вынос из водоема;
- образование донных отложений и их преобразование в осадочную породу.

На водосборе в зависимости от природных условий (климат, рельеф, геология, почвогрунты, растительность) и хозяйственной деятельности (вырубка лесов, распашка территории, осушение болот, орошение) развиваются процессы эрозии, дефляции, являющиеся источниками аллохтонного вещества. В самом водоеме под влиянием ветрового волнения развиваются абразионные процессы, поставляющие в водоем автохтонное вещество. Размыв берегов наиболее интенсивно происходит в первые годы создания водохранилища, когда длина береговой линии водоема стремится с энергетических позиций к минимально возможной для конкретной местности.

Другим источником автохтонного вещества являются продукты жизнедеятельности животных и растительных организмов. Поступивший в водоем из всех источников седиментационный материал смешивается и разносится по водоему, претерпевая по пути переработку и изменение механического состава, сортируется по крупности, выпадает из взвесей в осадок и частично выносится из водоема вместе с водой, сбрасываемой в нижний бьеф или забираемой на хозяйственные нужды.

Степень переработки – измельчения материала – зависит от гидродинамической активности водоема и наиболее выражена в самых крупных из них. В малых водоемах седиментационный материал выпадает в осадок непереработанным и имеет такой же механический состав, как и при поступлении в водоем.

Сортировка материала по крупности зависит от его количества, механического состава, скоростного режима водоема, длины пути, проходимого взвесью. Наиболее полной является сортировка в крупных водоемах, в меньшей степени это явление проявляется в малых водоемах [3–5] и даже лужах [6].

Осаждение взвесей в водохранилищах происходит по мере их транспорта, переработки и сортировки. Этот процесс является наиболее изученным в связи с разработкой гидродинамических методов расчетов водохранилищ [7–9]. Одновременно с осаждением взвесей происходит пополнение их концентрации за счет взмучивания донных отложений.

Образовавшийся первичный осадок подвергается трансседиментации (переотложению) в результате следующих процессов:

- резкого снижения уровней и сезонной изменчивости скоростей течения [10, 11];
- сползания верхнего разжиженного слоя отложений по подводным склонам [12, 13];

- взмучиванием поверхностного слоя отложений и выносом тонкозернистых взвесей течениями в глубоководную зону [14–17];
- поступлением в водохранилище поверхностного стока [16].

Трансседиментация отложений нарушает их годовую и сезонную слоистость и способствует выравниванию подводного рельефа. Наибольшая мощность отложений в прудах наблюдается в приплотинной зоне, что обусловлено спецификой распределения взвесей по акватории водоема. Диагенетические изменения в отложениях проявляются в гравитационном уплотнении, уменьшении влажности, изменении физико-минералогического состава, минерализации органического вещества [18]. Большую роль в преобразовании донных отложений играют также бентосные организмы, мигрирующие в верхний 20–40-сантиметровый слой.

По мере углубления в донные отложения аэробные биохимические процессы постепенно затухают, донные отложения с захороненными в них органическими и минеральными веществами подвергаются анаэробному воздействию и позднее превращаются в осадочную породу.

Осадконакопление, как и поступление седиментационного материала, подвержено временной динамике в связи с постепенным затуханием процессов абразии берегов, динамике процессов биопродуцирования, поступления аллохтонного вещества в результате изменения хозяйственной освоенности водосбора. Интенсивность осадконакопления уменьшается также в связи с уплотнением отложений и увеличением их сброса в нижний бьеф.

Количественным выражением рассмотренной схемы осадкообразования является уравнение седиментационного баланса

$$R_{\Pi} + R_{\text{б}} + R_{\text{р}} + R_{\text{з}} + R_{\text{вн}} = R_{\text{о}} + R_{\text{сб}} + R_{\text{хоз}} \pm \Delta R_{\text{взв}} \pm \Delta R; \quad (1)$$

где R_{Π} – поступление взвешенных и влекомых наносов с водами питающего водотока;

$R_{\text{б}}$ – поступление наносов с прилегающего к водоему водосбора;

$R_{\text{р}}$ – продукты размыва берегов;

$R_{\text{з}}$ – золотое вещество;

$R_{\text{вн}}$ – продукты внутренней жизни водоема;

$R_{\text{о}}$ – осадконакопление;

$R_{\text{сб}}$ – сброс взвешенных веществ в нижний бьеф;

$R_{\text{хоз}}$ – поступление взвешенных веществ с водой забираемой на хозяйственные нужды;

$\Delta R_{\text{взв}}$ – изменение содержания взвешенных веществ в водоеме за расчетный период;

ΔR – невязка баланса.

Первые сведения об интенсивности заиления прудов юга России дает работа И.У. Палимпсегова, относящаяся к 1868 г. Автор отмечает высокую интенсивность заиления 9 см/год, что практически не отличается от современных значений и приводит к выходу из строя прудов глубиной 1,5 м уже через 15–20 лет [1].

В общей сложности к 1986 г. в маршрутных и балансовых исследованиях были проведены наблюдения на 500 одиночных малых водохранилищах и 250 в составе каскадов. Основная масса изученных водоемов приходится на степную (59 %) и лесостепную зоны (21 %), результаты обобщены в работах [1, 2, 5, 15].

Гидродинамическая особенность малых водоемов заключается в том, что основным видом движения воды является ветровое волнение и вызываемые им течения. Стоковые течения, хотя и очень слабые, возникают лишь в период наполнения водоемов и сброса воды из них.

В связи со слабой гидродинамической активностью, интенсивным заилением, приводящим к обмелению и значительному прогреву воды, малые водохранилища и пруды, особенно в верховьях и прибрежной части, зарастают высшей водной растительностью. Заросли тростника достигают на прудах Предкавказья, например, высоты 3 и более метров. Зарастаемость отдельных водоемов достигает до 90 % площади зеркала, а сухая биомасса высшей водной растительности 1,4–2,4 кг/м². Прибрежные тростниковые заросли, задерживая продукты смыва, поступающие с прилегающих склонов, защищают берега от размыва. Находясь в верховьях водоема, они способствуют снижению скорости течения и осаждению взвешенных веществ, часть которых прилипает к листьям растений. Роль тростниковых зарослей в осадконакоплении двоякая: они дают органический опад, способствуют осаждению взвешенных веществ и в то же время защищают берега прудов от размыва. Берегозащитная роль тростника чаще всего превалирует: заросшие пруды по сравнению с незаросшими отличаются меньшей интенсивностью заиления.

Относительно немногочисленные водно-балансовые исследования позволили выявить гидрологическую специфику малых водоемов [19–22].

В заполнении малых водоемов помимо стока водотока и выпадающих на зеркало воды осадков участвует склоновый сток с прилегающего водосбора, грунтовые воды и родники, а при каскадном расположении прудов еще и воды, фильтрующиеся из вышерасположенного водоема.

Как в лесостепной, так и в степной зонах при уменьшении размеров водоемов в приходной части водного баланса уменьшается доля стока питающего водотока и растет доля осадков на зеркало воды. Так, например, в лесостепной зоне осадки на зеркало Куйбышевского водохранилища объемом 58 км³ составляют 1 % приходной части его баланса, тогда как в балансе

Успенского водохранилища объемом 2,4 млн м³ – 11 %. В лесной и лесостепной зонах до 25–50 % объема прудов заполняется грунтовыми водами.

В расходной части водного баланса при переходе от больших водохранилищ к прудам уменьшается доля сброса воды в нижний бьеф и возрастают доля потери воды на испарение и фильтрацию.

Основным источником седиментационного материала в прудах и небольших водохранилищах лесостепной и степной зон являются продукты эрозии водосбора. Кроме того, наибольшее количество продуктов эрозии поступает с прилегающих к водоему склонов, что является принципиальным отличием от средних и крупных водоемов.

Обработка данных наблюдений за переработкой берегов малых водохранилищ и прудов с площадью зеркала 30–3000 га, глубиной 1,5–7,0 м и длиной разгона волны от 0,3 до 2,0 км позволили установить зависимость для расчета значения коэффициентов заложения подводного откоса в придонной зоне [23]:

$$m = \frac{\frac{1}{f} + 22L}{(10d_{10})^n}; \quad n = 0,39 \sqrt[3]{L^2}, \quad (2)$$

где L – длина разгона волны на подходе к откосу, км;

f – коэффициент внутреннего трения грунта;

d_{10} – диаметр частиц грунта, больше которого в грунте содержится 10 % частиц по весу, мм.

Высота прибойной зоны принимается равной 1 м, выше и ниже НПУ в среднем на 0,5 м. Коэффициент заложения надводного откоса в среднем в 2 раза меньше, чем для подводной отмели.

Наблюдения также показали, что в первые годы эксплуатации малых водоемов происходит интенсивное заиление устьевых участков русел малых водотоков, впадающих в водоемы. Так, например, обследование Любанского водохранилища на р. Орессе (Беларусь) показало, что отложение наносов начинается в месте выклинивания кривой подпора, в результате чего дно русла на этом участке за три года повысилось на 0,7 м [23].

В лесостепной зоне крупные водохранилища получают седиментационный материал преимущественно за счет размыва берегов и ложа, а в степной зоне, где реки транспортируют большое количество наносов, основным источником заиления является твердый сток реки. В заилении степных малых водохранилищ, по сравнению с лесостепными, возрастает участие продуктов размыва берегов. Доля продуктов внутренней жизни водоема составляет 2–3 %. Основным элементом расходной части седиментационного баланса всех водохранилищ степной и лесостепной зоны является осадочно-накопление, составляющее в среднем 96 %. В нижний бьеф сбрасывается

Таблица 1. Средние показатели осадконакопления в прудах объемом менее 500 тыс. м³ по [1]

Зона, регион	Число водоемов	Площадь водосбора, км ²	Объем пруда, 10 ³ м ³	Число лет эксплуатации	Среднегодовые		
					R_o , 10 ³ м ³	R_o/W_o , %	M_o , м ³ /км ²
Лесостепная	94	11,4	138	24	4,11	3,0	360
Русская равнина	78	11,9	151	23	4,80	3,2	403
Западная Сибирь	16	8,53	77,1	24	0,74	1,0	87
Степная	239	18,0	92,0	28	1,34	1,5	74
Русская равнина и Предкавказье	173	15,4	96,3	28	1,56	1,5	101
Западная Сибирь	66	24,9	80,4	26	0,78	1,0	31

Примечание: R_o – объем отложений; W_o – объем водоема; M_o – модуль заиления, отношение объема отложений к площади водосбора.

менее 4 %, что находится в пределах точности определения объема отложений по данным полевых наблюдений.

Осадконакопление в малых водохранилищах – обусловленный географической зональностью процесс стока наносов с малых водосборов как основных источников седиментационного материала.

Данные, представленные в табл. 1, показывают, что несмотря на различие в объемах прудов и площади водосбора, все показатели заиления как абсолютные, так и относительные, исключая влияние размеров водоема и водосбора, достигают наибольших значений в лесостепной зоне. Пруды этой зоны ежегодно теряют в связи с заилением в среднем 3 % своего объема, тогда как пруды степной зоны только 1,5 %, что подтверждает вывод Н.И. Маккавеева о приуроченности максимума эрозии к лесостепной зоне [6].

В каждой зоне наибольшей интенсивностью заиления отличаются пруды Русской равнины. Изменения показателей осадконакопления при переходе от одного региона зоны в другой согласуются с изменением как активных факторов эрозии (осадки, сток), так и лесистости, овражности, распаханности территории, уклона малых водосборов, содержания гумуса в почве.

С учетом этих обстоятельств М.Я. Прытковой выполнено районирование территории бывшего СССР на 16 седиментационных районов, отличающихся по условиям осадконакопления в прудах [1]. Анализ этого фактического материала позволил сделать следующие выводы [8].

1. Расположенные в прибрежной части действующие овраги оказывают значительно большее влияние на заиление водоемов, чем распаханые до уреза воды склоны.

2. Овраги, расположенные на 2–3 км выше пруда, слабо влияют на его заиление.

3. Роль распаханых склонов возрастает с увеличением их уклона.
4. Залуженные склоны в большей степени снижают заиление прудов, чем посадки деревьев и кустарников.
5. Сильно фильтрующие и заросшие водной растительностью пруды отличаются меньшей интенсивностью заиления в связи с ослаблением размыва берегов.
6. Снижению интенсивности заиления способствует древесно-кустарниковая растительность в нижней части овражно-балочных водосборов выше пруда.
7. Каскады прудов по интенсивности заиления почти не отличаются от верховых прудов в связи с преимущественным поступлением продуктов эрозии с прилегающих к водоему склонов.
8. Копани, заполняемые местным стоком, заиливаются с той же интенсивностью, что и пруды в гидрографической сети.
9. Пруды полного регулирования стока имеют ту же интенсивность заиления, что и пруды, сбрасывающие часть воды во время наполнения в связи с большой наносоудерживающей способностью водоемов в степной и лесостепной зонах.

Для расчета осадконакопления в прудах для каждого седиментационного района М.Я. Прытковой получены уравнения регрессии следующего вида:

$$M_3 = a_0 + a_1 \frac{W_0}{F} + a_2 T; \quad (3)$$

$$\frac{R_0}{W_0} = a_0 + a_1 W_0 + a_2 T; \quad (4)$$

$$R_0 = a_0 + a_1 W_0 + a_2 F + a_3 T; \quad (5)$$

$$R_0 = a_0 + a_1 \frac{W_0}{F}; \quad (6)$$

где W_0 – объем водоема, тыс. м³;

F – площадь водосбора, км²;

W_0/F – слой аккумуляции, мм;

M_3 – модуль заиления, отношение объема заиления к площади водосбора, м³/км²;

R_0 – объем отложений, м³;

R_0/W_0 – относительные потери объема на заиление, %.

Приведенные выше уравнения характеризуются высокими значениями коэффициентов корреляции, превышающими, как правило, 0,8.

Донные отложения (ДО) образуются в результате биохимических, микробиологических и физико-химических процессов из остатков высшей водной растительности (ВВР), переносимых водой органических и минераль-

Таблица 2. Качественный состав донных отложений малых водохранилищ и прудов на сельскохозяйственных водосборах в условиях Северо-Запада РФ [24]

Показатель	Значение показателя, мг/100 г сухого ила		
	Наибольшее	Наименьшее	Среднее
Органические вещества	22 500	3000	8900±1200
Азот общий	1900	700	1180±130
Фосфор	27	3,8	14,8±1,8
Калий	17	2,2	12,1±1,5
Магний	220	15,0	60,6±16
Кальций	410	30,0	118±37
Железо	2200	46,0	820±220
Медь	9,4	1,0	3,0±0,7
Марганец	220	31,0	70,8±17
Цинк	21,0	2,0	8,8±1,9
Свинец	3,7	0,8	2,1±0,3
Никель	5,0	1,9	3,5±0,4
Хром	5,1	1,8	3,4±0,4
Молибден	2,4	0,1	1,6±0,03

ных частиц. Основным источником органического вещества ДО являются отмирающие остатки ВВР. С другой стороны, снижение скоростей течения в зарослях ВВР способствует осаждению взвешенных веществ и формированию минеральной части ДО.

Исследования малых водохранилищ и прудов на Северо-Западе РФ [24–26] показали, что в них ДО характеризуются высокой влажностью. В состоянии полной влагоемкости их объемная масса составляет 120–710 кг/м³, пористость 0,72–0,95. По механическому составу 20 % исследованных образцов относится к глинам, 53 % – суглинкам, 27 % – супесям. Установлено, что водно-физические и агрохимические свойства ДО в значительной степени определяются содержанием в них органического вещества [24, 27]. В целом, по своим агрохимическим свойствам исследованные ДО близки к осадкам хозяйственных сточных вод (табл. 2).

Микроэлементный состав донных отложений обследованных водоемов представлен в табл. 3. Анализ данных показал, что среднее содержание ионов тяжелых металлов в ДО близко к их среднему содержанию в почвах. Минимальные значения концентраций этих ингредиентов в донных отложениях, как правило, превышают аналогичные значения для почвенных образцов. Относительное накопление соединений тяжелых металлов в биомассе высшей водной растительности значительно меньше, чем в донных отложениях.

Таким образом, основным источником поступления соединений металлов в илы исследуемых водохранилищ являются почвы, уровень содержания

Таблица 3. Микроэлементный состав твердой фазы иловых отложений исследованных водоемов [24]

Объект	Содержание ТМ, мг/кг сухого вещества					
	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Pb ²⁺	Ni ²⁺	Co ²⁺	Mn ²⁺
Иловые отложения: ср/наим.-наиб.	<u>28</u> 15–84	<u>66</u> 25–207	<u>23</u> 9–36	<u>37</u> 19–50	<u>20</u> 10–33	<u>500</u> 210–1850
Почвы Северо-Запада: ср/наим.-наиб.	<u>20</u> 2–100	<u>50</u> 10–300	<u>10</u> 2–200	<u>40</u> 10–1000	<u>8</u> 1–40	<u>850</u> 100–4000
ВВР: надземная/корневая часть	<u>9,1</u> 15	<u>4,6</u> 13	<u>4,6</u> 11	<u>0,19</u> 0,18	<u>5,3</u> 11	<u>6500</u> 730
ПДК для минеральных почв	Фон + 35	Фон + 50	32	Фон + 45	–	1500
Директивы ЕЭС	3000	10 000	1000	50–100	–	–
I группа ГОСТ АКХ	100–300	300–1000	100–200	100–200	–	–

данных компонентов в которых определяется природным фоном, поступлением с аэротехногенными потоками, органическими и минеральными удобрениями, пестицидами. Немаловажный источник поступления соединений тяжелых металлов в водные объекты – сточные воды, в т. ч. и ливневые. Не стоит исключать и влияние эолового переноса, поступления с жидкими и твердыми осадками.

Характерной особенностью химического состава донных отложений малых водоемов в условиях Северо-Запада РФ является высокое содержание Fe_{общ}, достигающее в отдельных образцах 10 % по массе. В целом, в толще илов преобладают восстановительные условия, до 75 % железа находится в закисной форме [24, 25]. Исследования содержания ионов металлов в донных отложениях Верхневолжских озер [28] позволили установить их фоновое содержание в почвах в данном регионе. Сравнение этих данных с аналогичными показателями для испытывающих большую нагрузку Верхневолжских водохранилищ показало, что при отсутствии сосредоточенных сбросов коммунальных и промышленных сточных вод загрязненность донных отложений тяжелыми металлами не превышает фоновых значений.

В среднем ДО содержат тяжелые металлы в количествах, не превышающих ПДК для почв сельскохозяйственных угодий, с большим запасом отвечают критериям пригодности к утилизации на сельскохозяйственных угодьях по нормативам ЕЭС, дифференцируются в I группу ГОСТ «Осадки сточных вод. Требования к утилизации», разработанного АКХ им. Памфилова, т. е. пригодны к использованию на сельскохозяйственных угодьях без каких либо ограничений [24–26]. Однако в каждом конкретном случае принятия решения об использовании донных отложений в хозяйственной деятельности необходим либо химический анализ состава донных отложе-

Таблица 4. Основные гидрохимические показатели внутриводного раствора донных отложений исследованных водоемов [24]

Показатель	Значение показателя, мг/л	
	Среднее	Пределы изменения
NH_4^+	62,9	13,6–240
NO_2^-	0,53	0,02–2,50
NO_3^-	5,27	1,40–27,6
$\text{N}_{\text{общ}}$	76,3	15,3–264
$\text{P}_{\text{мин}}$	0,96	0,06–6,20
$\text{P}_{\text{вал}}$	1,35	0,12–6,80
K^+	13,2	1,5–60
Fe^{2+}	7,1	0,75–26
Fe^{3+}	25,2	1,25–225
БПК ₅	10,6	1,5–64
ХПК	283	92–764
Окисляемость	168	40,0–488

ний, либо доскональный анализ факторов, влияющих на формирование химического состава.

При пористости 0,72–0,95 от объема ДО в большей степени состоят из внутриводного раствора (ВВР), чем из твердой фазы. Загрязняющие вещества в составе ВВР (табл. 4) потенциально обладают большей подвижностью и могут быть источником загрязнения речных вод при спуске водохранилищ. Воды ВВР отличаются исключительно высоким содержанием NH_4^+ , что свидетельствует о процессах распада органического вещества в твердой фазе ДО. Наличие значительного количества ионов NO_2^- свидетельствует о проявлении процессов нитрификации. Параллельно протекает и обратный процесс – денитрификация, о чем свидетельствует наличие азота в составе выделяющихся газов. В целом, по удобрительной ценности и содержанию биогенов воды ВВР близки к хозяйственным сточным водам.

Наиболее ценной в агрономическом плане является иловая фракция донных отложений, по своим свойствам близкая к сапропелям. Однако в соответствии с режимом формирования донных отложений в малых водохранилищах и прудах не следует ожидать в них иловых отложений со свойствами (водно-физическими и агрохимическими), близкими к свойствам сапропелей.

Обобщая все вышесказанное, можно сделать вывод, что малые водохранилища и пруды обладают высокой наносодерживающей способностью, задерживая до 94 % продуктов водной эрозии, поступающих с водосбора. Их принципиальным отличием от более крупных водоемов является относительно большее поступление продуктов эрозии с прилегающих к водоему склонов.

Донные отложения малых водохранилищ и прудов характеризуются высокой влажностью, в состоянии полной влагоемкости пористостью от 0,72 до 0,95 и в условиях естественного залегания состоят, в основном, из внутриводного раствора. Содержание органического вещества тесно коррелирует с пористостью и агрохимическими свойствами донных отложений. В целом, по своим агрохимическим свойствам донные отложения близки к осадкам хозяйственных сточных вод. При отсутствии на водосборе промышленных и коммунальных источников загрязнения по содержанию тяжелых металлов донные отложения пригодны к утилизации на сельскохозяйственных угодьях без каких либо ограничений.

Воды внутриводного раствора донных отложений отличаются высоким содержанием азота, фосфора, калия, преимущественно в минеральной форме и по совокупности этих показателей близки к хозяйственным сточным водам. Установлено, что концентрации загрязняющих веществ в водах внутриводного раствора в среднем в 5–10 раз, а аммонийного азота в 270 раз больше, чем в протекающих водах, что создает опасность их загрязнения при опорожнении водохранилищ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Прыткова М.Я.* Географические закономерности осадконакопления в малых водохранилищах. Л.: Наука, 1986. 86 с.
2. *Прыткова М.Я.* Осадконакопление в малых водохранилищах. Л. 1981. 152 с.
3. *Дрозд Н.И.* Из материалов по исследованию заиления водохранилищ Украины / Тр. Лаб. Озероведения АН СССР. 1958. Т. 7. С. 92–97.
4. *Яковлева Л.В.* Плотность иловых отложений малых водоемов ЦЧО // В кн.: Малые водоемы равнинных областей СССР и их использование. М.–Л.; 1961. С. 191–196.
5. *Прыткова М.Я.* Малые водохранилища лесостепной и степной зон СССР. Л. 1979. 172 с.
6. *Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М. 1955. 346 с.
7. *Караушев А.В.* Теория и метод расчета заиления малых водохранилищ и прудов // Тр. ГГИ. 1966. Вып. 132. С. 68–81.
8. *Шамов Г.И.* Речные наносы. Л. 1954. 346 с.
9. Указания по расчету заиления водохранилищ при строительном проектировании. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 55 с.
10. *Старикова Н.Д.* Накопление и распределение осадков в некоторых водохранилищах канала им. Москвы // ДАН СССР. 1956. Т. 111. № 6. С. 1326–1329.
11. *Широков В.М.* Формирование современных донных отложений в Куйбышевском водохранилище // В кн.: Сборник работ Комсомольской ГМО. Л. 1965. Вып. 5. С. 142–145.
12. *Белостоцкий И.И.* Некоторые примеры деформации осадков в период их отложения // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1955. Т. 30. Вып. 4. С. 49–65.
13. *Виноградова Н.Н., Мартынова М.В.* Особенности распределения органического вещества в илах Можайского водохранилища // Вестник МГУ. Сер. геогр. 1973. № 5. С. 97–99.
14. *Караушев А.В.* Взмучивание и распространение зон мутности в водохранилищах // Тр. ГГИ. 1964. Вып. 111. С. 81–95.
15. *Караушев А.В.* Теория и методы расчета речных наносов. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 272 с.

16. Широков В.М. Формирование ложа водохранилищ // В кн. Изменение природных условий в Средней Оби после создания Новосибирской ГЭС. Новосибирск. 1973. С. 96–120.
17. Буторин Н.В., Зиминова Н.А., Кудрин В.П. Донные отложения Верхневолжских водохранилищ. Л.: Наука, 1975. 158 с.
18. Лысенко М.П. Состав и физико-механические свойства грунтов. М.: Недра, 1972. 320 с.
19. Сорокин И.Н. Опыт изучения водного баланса малых водоемов Курской области // В кн.: Малые водоемы равнинных областей СССР и их использование. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 58–64.
20. Сорокин И.Н. Водный баланс Успенского водохранилища // В кн.: Вопросы гидрологии Успенского водохранилища и его водосбора. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 98–127.
21. Бойко И.С. Водный баланс водохранилища «Волчьих ворот» // В кн.: Заиление водохранилища «Волчьих Ворот» и цепочек прудов на его водосборе. Л.: Наука, 1971. С. 167–182.
22. Прыткова М.Я. Водный и седиментационный баланс Отказненского водохранилища // В кн.: Отказненское водохранилище: заиление и гидробиология. Л.: Наука, 1973. С. 104–136.
23. Саплюков Ф.В. Заиление и переработка берегов малых водохранилищ. В кн.: Создание, сохранение и восстановление водоемов. Елгава: ВНИИВОДПолимер, 1974. С. 40–50.
24. Дашиев Ш.Т. Геоэкологические основы охраны и воспроизводства водных ресурсов на мелиорируемых сельскохозяйственных водосборах (на примере Северо-Запада РФ): автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб. 2001. 48 с.
25. Дашиев Ш.Т., Штыков В.И. Водоохранная роль малых водоемов в условиях сельскохозяйственного использования их водосборов в Ленинградской области // Водные ресурсы. 1997. Т. 24. № 5. С. 577–580.
26. Мартынова М.В. Азот и фосфор в донных отложениях озер и водохранилищ. М.: Наука, 1984. 160 с.
27. Хендерсон-Селлерс Б. Инженерная лимнология. 1987. Л.: Гидрометеиздат, 336 с.
28. Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Кирпичникова Н.В. Особенности накопления тяжелых металлов в донных отложениях и высшей водной растительности заливов Иваньковского водохранилища // Водные ресурсы. 2001. Т. 28. № 4. С. 441–447.

Сведения об авторах:

Попов Александр Николаевич, д. т. н., профессор, заведующий отделом восстановления рек и водоемов, ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГУП РосНИИВХ), 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23; e-mail: pan1944@gambler.ru

Штыков Валерий Иванович, д. т. н., профессор, кафедра «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика», Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9