

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ  
ЦЕНТРАЛЬНОГО И ЮЖНОГО ВЬЕТНАМА**

© 2019 г. В. В. Законнов<sup>1,\*</sup>, В. А. Гусаков<sup>1</sup>, Л. Е. Сигарева<sup>1</sup>, Н. А. Тимофеева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова РАН

пос. Борок Ярославская обл. 152742 Россия

\*E-mail: zak@ibiw.yaroslavl.ru

Поступила в редакцию 05.05.2016 г.

После доработки 17.07.2016 г.

Принята к печати 06.10.2016 г.

Впервые представлены физико-химические характеристики донных отложений внутренних вод Центрального и Южного Вьетнама – гранулометрический состав, содержание органического вещества, объемная масса и естественная влажность. В реках, озерах, водохранилищах, бывших карьерах и прудах определены основные типы наносов. Установлено сходство между физико-химическими свойствами донных отложений водоемов Вьетнама и водохранилищ Волжского каскада. Выявлены общие закономерности формирования донных осадков в водоемах гумидного, аридного и тропического муссонного климата.

*Ключевые слова:* донные отложения, внутренние воды, физико-химические свойства, Вьетнам.

DOI: 10.31857/S0321-059646182-90

**ВВЕДЕНИЕ**

Донные отложения (ДО) – многокомпонентные природные объекты, отражающие в своей структуре и свойствах все разнообразие внутриводоемных, бассейновых и планетарных гидрофизических и биогеохимических процессов, непосредственно влияющих на функционирование пресноводных экосистем через взаимодействие между водой, седиментами и биотой [5]. Исследование осадочного вещества в поверхностных водах (реках, озерах, прудах, водохранилищах) рассматривается как самостоятельный раздел изучения седиментогенеза в верхнем слое литосферы Земли [11]. Свойства ДО формируются в результате сложных взаимодействий между компонентами водных экосистем и зависят от вариабельности и направленности трендов биотических и абиотических факторов. ДО как итог интегрального комплексного влияния факторов на экосистему служат индикатором условий и процессов в водной толще.

Для фундаментальной науки представляет интерес изучения ДО в водоемах, расположенных в географических зонах с различным климатом [6]. На современном этапе эволюции био-

сферы ДО формируются в условиях потепления, и поэтому особый интерес вызывают районы с высокими величинами приходящей солнечной радиации и температуры как основных факторов продуктивности водоемов.

Цель работы – выявить физико-химические свойства донных отложений водоемов и водотоков на территории с тропическим муссонным климатом на примере Вьетнама.

Вьетнам – страна с быстро растущим населением, бурно развивающейся промышленностью, рыболовством и разведением рыб, моллюсков и креветок, интенсивным гидростроительством, сельским хозяйством и другими видами хозяйственной деятельности на водосборах. Анализ свойств ДО как интегральных показателей взаимодействия природных и антропогенных факторов представляет особый интерес.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ  
ИССЛЕДОВАНИЯ**

Полевые исследования выполнялись с 27 февраля по 11 мая 2014 г. в четырех провинциях Центрального и Южного Вьетнама на 36 разно-



**Рис. 1.** Картограмма района исследований и местоположения изученных водоемов. I–IV – провинции (в скобках даны оригинальные названия): I – Кханьхоа (Khánh Hòa); II – Биньтхуан (Bình Thuận); III – Даклак (Đắk Lắk); IV – Ламдонг (Lâm Đồng). 1 – р. Зау (Dầu); водохранилища: 2 – Шуоизау (Suối Dầu); 3 – Дабан (Đá Bàn); 4 – Шуоичау (Suối Chầu); 5 – р. Кау (Cầu); 6–8 – карьеры; озера: 9 – безымянное; 10 – Баушен (Bàu Sen); 11 – Баучанг (Bàu Trắng); 12–16 – пруды; 17–18 – безымянные озера; водохранилища: 19 – Еакао (Ea Kao); 20 – Дакминь (Đắk Minh); 21 – Еашуп (Ea Súp); 22 – Еашуптхьонг (Ea Súp Thượng); 23 – Еаняй (Ea Nhái); 24 – Буонзонг (Buôn Dong); озера: 25 – Лак (Lắk); 26 – Дакнхе (Đắk Nhe); 27 – Еарбин (Ea R’Bin); водохранилища: 28 – № 62 (Hồ 62); 29 – Фуктхо (Phước Thọ); 30 – Дарон (Đà Ròn); 31 – Даним (Đa Nhim); 32 – Баолам (Bảo Lâm); 33 – Кала (Ka La); 34 – Шуоиванг (Suối Vàng); 35 – Туенлам (Tuyen Lâm); 36 – Дакхай (Đa Khai).

типных водоемах, представленных реками, озерами, водохранилищами, карьерами и прудами (рис. 1). Всего собрано 67 образцов наносов.

Отбор проб ДО выполняли с помощью микробентометра С-1 с диаметром трубки 34 мм (площадь захвата ~9 см<sup>2</sup>) из верхнего 5-сантиметрового слоя. В небольших водных объектах (реках и прудах) пробы отбирались в прибрежной мелководной зоне на глубине <1 м, в крупных водоемах – с помощью плавсредств в литоральных и центральных частях акватории, а также на максимальной глубинах. После подъема трубки из нее удаляли придонную воду с помощью сифона. Пробы помещали в емкости объемом 100 мл, а затем в термобоксы со льдом, в которых образцы перевозили в стационар. В лаборатории материал хранили в замороженном виде до выполнения анализов. Для получения

физических и химических характеристик ДО использовали традиционные методы с небольшими изменениями и модификациями [1, 2, 13, 15]. Естественную влажность грунта определяли, учитывая массу навески ДО до и после ее просушивания при температуре 60°C. Воздушно-сухую объемную массу отложений рассчитывали по формуле, полученной на основе экспериментальных исследований [14]. Содержание органического вещества определялось по потере массы сухого грунта после сжигания в муфельной печи при 600°C [2]. Гранулометрический состав определяли в сырых пробах с применением электромагнитной просеивающей установки “Analysette-3” фирмы “Alfred Fritsch & CO”, а также с прецизионными ситами, позволяющими разделять частицы по величине диаметра в диапазоне от 100 до 5 мкм [15].

На водоемах замедленного водообмена скорость течения определялась с помощью поплавков и секундомера, а в реках — методом аналогов по данным водомерных постов с учетом высотной поясности и уклона водной поверхности. Однако в сухой сезон, который был характерен для периода отбора проб, непосредственные натурные наблюдения не дали представления о гидродинамической активности в целом, поскольку скорость течения, как правило, была близка к нулю. Применение экспертной оценки, апробированной на волжских водохранилищах, к водоемам Вьетнама оправдано идентичностью подходов и методов, используемых при оценке свойств ДО. Такой способ дал возможность выявить зависимость между потенциальной скоростью течения и размерной структурой ДО.

Тип грунта устанавливали визуально, уточняя на основе свойств отложений: естественной влажности, объемной массы, гранулометрического состава и содержания органического вещества — по классификации, разработанной для волжских водохранилищ [5].

### РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

Климат в регионе — тропический муссонный. Среднемесячная температура воздуха зимой и весной составляет 25–30°C. В горных областях она несколько ниже по сравнению с равнинными — приморскими. По интенсивности выпадения атмосферных осадков выделяют два сезона — сухой и влажный. Основное количество дождей (в среднем 200–300 мм в месяц) в горных районах выпадает в конце весны и начале осени, в приморских — осенью [8]. Экспедиционные работы проводились в период сухого сезона. Кратковременные и слабоинтенсивные осадки наблюдались только в провинциях Даклак и Ламдонг в апреле–мае. Многие из изученных водоемов характеризовались пониженным уровнем воды. Прежде всего это относится к прудам и водохранилищам, основное заполнение которых происходит в сезон дождей, а в сухой период запас воды интенсивно расходуется на орошение и другие хозяйственные нужды. Сток рек в это время был минимальным. Так, в р. Донгнай — третьей после рек Меконг и Красной — разница между стоком по сезонам очень велика и составляет 1474 м<sup>3</sup>/с [9]. Большая часть (87–93%) осадков выпадает в сезон дождей (июнь–ноябрь), оставшая (7–13%) — в сухом сезоне (январь–май) [19].

В провинции Биньтхуан (II) исследованы озера, два из которых сравнительно крупные и глу-

боководные, а также несколько прудов. Водоемы расположены недалеко от побережья на высоте 30–40 м над уровнем моря. Долинный характер местности, гирляндное расположение и морфометрия водоемов свидетельствуют о том, что они образовались на месте стекавшей ранее в море небольшой реки, перегороженной дюнами. Возраст озер неизвестен, но наличие мощных иловых отложений в профундали указывает на их древнее происхождение. Окружающая данную группу водоемов территория довольно засушливая, растительности мало, поверхность покрыта дюнами с белыми и красноватыми песками и суглинками. Все водоемы бессточные — с атмосферным и грунтовым питанием. Уровень водоемов остается относительно стабильным даже в сухой период, о чем свидетельствуют устойчивые берега и хорошо развитый пояс высшей водной растительности (полуводные злаковые, лотос, рогоз, гиацинт, роголистник и др.). По берегам озер расположены сельские поселения, жители которых занимаются выращиванием различных культур (в основном арахиса), а также интенсивным рыболовством. Почвы удобряются органическими и минеральными веществами, но их плодородие трудно повысить, поскольку удобрения вымываются в водоемы в результате поливов и дождей. Биогенные элементы, поступающие с водосбора, а также накапливающиеся в результате деструкции новообразованного в водоеме органического вещества, в сочетании с высокой температурой (27–28°C у дна) способствуют “цветению” воды планктонными водорослями. В глубоководных озерах наблюдается интенсивное “цветение”, вследствие чего в профундальной котловине (5–8 м и более) образуется лишенная кислорода сероводородная зона. Литораль озер представлена песками, в том числе и заиленными, глубже преобладают глинистые и торфянистые (макрофитные) илы. В крупных озерах Баушен и Баучанг илистые отложения встречаются в узких заливах и в зарослях макрофитов на глубинах не более 3–4 м. В местах выхода грунтовых вод (до 5 м) залегают чистые пески. Прибрежье прудов состоит из заиленного песка с остатками растительности.

В провинции Кханьхоа (I) изучены залитые водой старые карьеры по добыче песка и небольшое безымянное озеро, расположенные в непосредственной близости от моря на п-ове Камрань, а также ряд небольших водохранилищ и рек, удаленных от побережья, на высоте ≤100 м над уровнем моря. Территория сильно урбанизирована и освоена под различные сельскохозяйственные культуры. На п-ове Камрань наземная

растительность слабо развита. Береговая зона водоемов состоит из чистых желтовато-буроватых палево-шпатовых кварцевых песков, местами с прослойками коричневых торфогенных отложений. Очевидно, в геологическом прошлом территория полуострова неоднократно покрывалась морем, и здесь развивались мангровые заросли, под которыми накапливались органические остатки. При очередном отступлении моря они быстро заносились песком, формируя упомянутые прослойки. При добыче песка из карьеров в период дождей торфяно-мангровые частицы из этих слоев попадают в воду, вследствие чего она имеет пониженные значения рН, высокую цветность и низкую прозрачность. Водосборы изученных рек и водохранилищ заняты преимущественно красными и глинисто-песчаными почвами (суглинками) с выходами гранитов. По визуальным оценкам, наносы в реках представлены песком различной крупности, в прибрежье карьеров и озер — заиленным песком с растительными или торфянистыми остатками, в центре карьеров — торфяно-макрофитным илом, в профундали водохранилищ — глинистым илом.

Исследованная территория провинции Даклак (III) относится к Центральному нагорью и располагается на высоте 190–600 м над уровнем моря. Здесь изучались водохранилища и естественные озера. Одно из самых крупных (~5 км<sup>2</sup>) и мелководных (максимальная глубина 2.5 м) оз. Лак в период наблюдений оказалось почти полностью обмелевшим. Наполнение всех водоемов и водотоков происходит в период дождей. В сухой сезон их уровень постепенно снижается из-за испарения и расходования воды на орошение. Большинство изученных водоемов (за исключением оз. Еарбин и водохранилищ Дакминь и Еашуптхюнг) расположено в сравнительно густо населенной местности, территории их водосборов активно используются в сельском хозяйстве, а сами водоемы — для рыболовства и местами для производства аквакультур. В водохранилище Буонзонг наблюдалось интенсивное цветение воды планктонными водорослями. Высшая водная растительность хорошо развита только в озерах и двух водохранилищах — Еашуп и Еаняй. В остальных водохранилищах она практически отсутствует из-за сильных сезонных колебаний уровня. Основные типы почв на территории провинции — красные каменные глины и суглинки. ДО литоральных, центральных мелководных и профундальных участков водохранилищ представлены, как правило, красно-серыми глинами и глинистыми илами. В единичных

случаях в литорали отмечен песок. Во всех озерах зафиксирован белесо-серый глинистый ил, напоминающий сапропель или известковисто-, диатомо-детритовую гиттию.

Провинция Ламдонг (IV) — наиболее высокогорная из всех изученных районов (840–1420 м над уровнем моря). Здесь были обследованы только водохранилища. Характер их водосборов и хозяйственная деятельность людей такая же, как в провинции Даклак. Акватории и окружающая территория водохранилищ Даним и Туенлам менее всего подвержены антропогенному влиянию. Вода в водохранилище Дарон отличалась крайне низкой прозрачностью (близкой к нулю) из-за большого количества глинистой взвеси, поскольку в прибрежных зонах активно проводились строительные работы. В водохранилище Кала наблюдалось сильное “цветение” воды. Из-за особенностей горной местности и соответствующего характера морфометрии долин исследуемые водохранилища имеют крутые берега. Вследствие этого, а также из-за сезонных колебаний уровня воды пояс высшей водной растительности в них практически не выражен. Как и в провинции Даклак, на дне водохранилищ преобладали красно-коричнево-серые глины и глинистые илы, продукты их пептизации и размыва. Местами в литорали отмечены пески, а в профундали — торфяно-макрофитный ил.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав ДО обуславливает их свойства и способность участвовать во внутриводоемных процессах, связанных с сорбцией и десорбцией растворенного органического вещества, биогенных элементов, тяжелых металлов и других поллютантов. Один из основных источников поступления растворенного и взвешенного осадочного материала в моря и океаны — речной сток, который составляет ~75% всех поступающих взвесей [10]. Минералогический состав океанических осадков в основном представлен гидрослюдами — >50% (47–55), коалинитом — 30% (25–35) и монтмориллонитом — 20% (16–26) [4, 16]. Химический состав речных взвесей устьевого участка р. Меконг, бассейн которой находится и на территории Вьетнама, представлен окислами Si (59), Al (21), Fe (8), K (3%), а также микроэлементами Ba, Cu, Cr, Se, La и др. (от 600 до 48 н×10<sup>-4</sup>%) [20]. В зависимости от физико-географических условий и гидродинамических процессов происходит локализация химических элементов, в основ-

ном в тонкодисперсных отложениях. В целом минералогический состав речных взвесей тесно связан с гранулометрией, следовательно – с составом и структурой ДО [17, 18].

Анализ образцов грунта показал, что ДО внутренних водоемов Вьетнама представлены следующими типами: гравий, крупный, средний и мелкий песок, илистый песок, песчанистый ил, глинистый ил, макрофито-торфянистый ил (табл. 1). Показатели свойств ДО изменяются соответственно представленному ряду: влажность отложений и вклад органического вещества возрастают, средний диаметр частиц и воздушно-сухая объемная масса – уменьшаются. Наиболее часто встречаемый тип грунта – глинистый и макрофито-торфянистый ил в водохранилищах, озерах, прудах и карьерах. В реках доминируют песок и галька. Промежуточные типы – илистый песок и песчанистый ил – встречались повсеместно.

Наличие глинистых минералов в тонкодисперсных отложениях поверхностных вод свидетельствует о высоких сорбционных возможностях, ранней стадии диагенеза и близости водоемов к источникам поступления взвесей, так как их форма, обусловленная угловатостью и шероховатостью поверхности частиц, весьма близка к фрагментам глинистых и суглинистых почв на речных водосборах. Крупнозернистые наносы представлены валунами, галечно-гравийным материалом и кварцево-шпатовыми песками. Слабая их окатанность свидетельствует также о раннем диагенезе.

Главный диагностический показатель типа ДО – гранулометрический состав. Размерные

коэффициенты позволяют сравнивать механический состав различных типов ДО и могут использоваться для реставрации процессов происхождения, формирования и накопления отложений. Анализы показали, что по основным структурным коэффициентам различные наносы и отложения поверхностных вод Вьетнама существенно не отличаются от таковых в других внутренних водах и морях [7, 15].

Коэффициент сортировки ( $S_o$ ) тесно связан с гидродинамическими процессами, в частности с интенсивностью стоковых и ветровых течений. Крупнозернистые наносы с высокой степенью сортировки ( $S_o < 2$ ) сменяются на плохо сортированные ( $S_o \geq 2$ ) тонкодисперсные отложения, что свидетельствует об аккумуляции илов без последующей активной пересортировки частиц. Грубозернистые наносы характерны для рек, где скорости течения в период дождей могут достигать  $\geq 2$  м/с. В зависимости от вертикальной поясности (от предгорных до прибрежных районов) скорости течения постепенно убывают до 0.4 м/с.

Такое же распределение частиц наблюдается в озерах, карьерах и водохранилищах. Мелководная часть подвержена ветро-волновому воздействию, поэтому тонкодисперсные частицы грунта вымываются скорее, чем более крупные. Иногда в глубоководных водоемах появляются зоны песков различной крупности в окружении илистых отложений. Пески образуются в местах выхода грунтовых вод с высоким дебитом. Крупнозернистая ( $> 1$  мм) и тонкодисперсная (0.05–0.01 мм) фракции имеют высокие коэффициенты корреляции со скоростью течения:

**Таблица 1.** Средние и экстремальные значения статистических показателей физико-химического состава ДО поверхностных вод Вьетнама ( $n$  – число проб,  $S_o$  – коэффициент сортировки,  $S_k$  – коэффициент асимметрии, Md – медиана или средний диаметр частиц, мм;  $W$  – естественная влажность, %;  $M$  – объемная масса (сухая), г/см<sup>3</sup>;  $OB$  – органическое вещество, %; прочерк – измерения не проводились)

Тип ДО	$n$	$S_o$	$S_k$	Md	$W$	$M$	$OB$
Гравий	2	-	-	5.0(1–10)	20(10–30)	2.5(2–3)	0.3(0.1–0.5)
Песок	7	1.5(1.0–2.0)	1.15(0.6–1.5)	0.4(0.1–1.0)	24(19–31)	1.5(1.2–1.7)	0.5(0.4–1.0)
Илистый песок	12	1.8(1.1–2.1)	0.95(0.4–1.1)	0.10(0.09–0.11)	28(20–40)	1.3(1.0–1.5)	2.0(1.1–4.1)
Песчанистый ил	8	2.1(1.4–3.8)	0.60(0.3–0.9)	0.07(0.05–0.09)	30(20–45)	1.2(1.0–1.4)	9.0(7.1–9.9)
Глинистый ил	26	3.2(2.0–4.4)	0.38(0.2–0.7)	0.04(0.01–0.05)	58(30–81)	0.7(0.3–1.3)	16.0(10.3–27.3)
Макрофито-торфянистый ил	14	-	-	-	80(65–95)	0.2(0.1–0.5)	40.0(31.0–59.3)

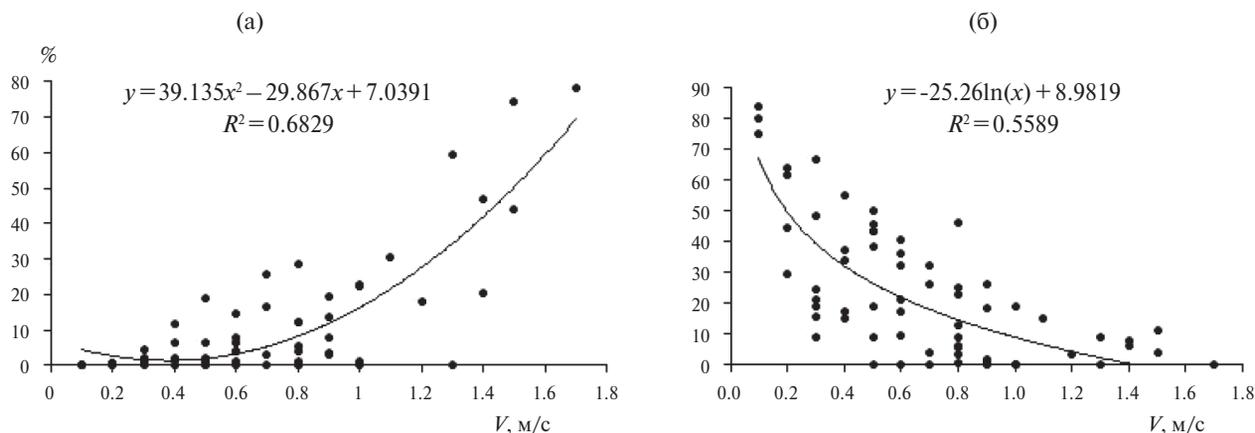


Рис. 2. Связи гранулометрических характеристик ДО со скоростью течения: крупнозернистой (а) и алевритовой фракций (б).

$R_1^2 = 0.68$ ,  $R_2^2 = 0.56$  (рис. 2). Эти фракции в основном определяют типы ДО водотоков и водоемов Вьетнама. Подтверждение этого – высокое значение коэффициента корреляции ( $R^2 = 0.82$ ) среднего диаметра частиц со скоростью течения (рис. 3). Граница крупнозернистых и тонкодисперсных ДО – скорость течения, равная 0.5 м/с, для Европейской территории ~0.42 м/с [7, 12]. Связь с другими фракциями выражена слабее, что также характерно для водохранилищ системы Волжского каскада.

В формировании определенного типа ДО важны максимальные скорости течения, а их природа зависит от продолжительности и величины пульсаций стоково-ветровых течений и дебита подводных источников грунтовых вод.

Для илистых отложений наблюдается двурывность гранулометрических профилей на гистограммах распределения размерных фракций,

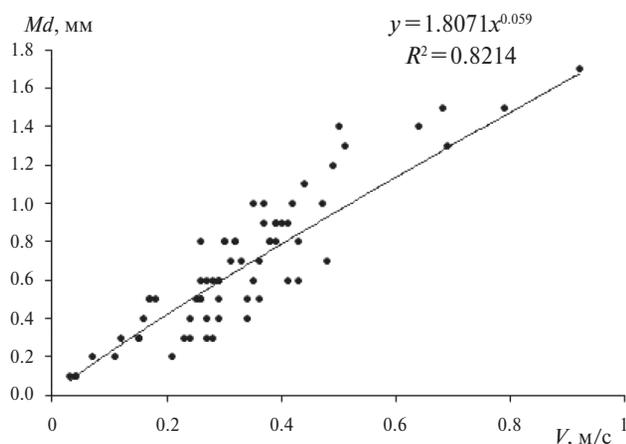


Рис. 3. Связь среднего диаметра частиц ДО со скоростью течения.

что указывает на плохую сортировку. Плохой сортировкой ( $S_o > 2$ ) отличаются древние аллювиальные пески, торфянистые илы, а также отложения из отмерших раковин и макрофитов. Ввиду того, что структура макрофито-торфянистых отложений неоднородна и представлена различными агрегатами – от наночастиц до слаборазложившихся фрагментов высшей водной растительности с высокой гидравлической крупностью, соизмеримой с гравием, расчет коэффициентов для отложений этого типа не проводился. После легкой диспергации проба легко переходит в субколлоидную стадию, но в природных условиях этого не происходит. Соответствующие отложения в Рыбинском водохранилище характеризуются также высокими коэффициентами сортировки –  $S_o > 3$  (3.12–3.72), что свидетельствует о слабой гидродинамической активности водных масс на участках залегания макрофитных и торфогенных отложений [3].

Коэффициент асимметрии ( $S_k$ ) в отложениях водоемов Вьетнама чаще всего меньше единицы. Это означает, что максимальное содержание фракций, состоящих из частиц крупнее среднего диаметра, находится в первой половине нарастающего графика (кумулятивной кривой). Фракции, находящиеся во второй половине графика, характеризуются коэффициентом асимметрии больше единицы ( $S_k > 1$ ).

Средний диаметр частиц (Md) колеблется в пределах 10–0.01 мм, при этом у крупного песка он превышает 0.5 мм, у илистых отложений – <0.1 мм. Большинство (>50%) илов поверхностных вод Вьетнама относится к алевритовой фракции (0.1–0.01 мм), пелитовая фракция (<0.01 мм) – в пределах 30–40, а песчаная (>0.1 мм) – до 10%. Несмотря на не-

большую выборку ( $n = 67$ ), пробы ДО Вьетнама можно считать репрезентативными, поскольку их размерные коэффициенты и основные физико-химические характеристики оказались практически такими же, как в водохранилищах Волги ( $n = 550$ ) [7].

Естественная влажность, органическое вещество и средний диаметр частиц наносов зависят от их типа. Так, крупнозернистые наносы насыщены водой на ~25%, илистые пески – на 30, песчаные илы – на 40–50, глинистые – на 60–65, а торфянистые и отложения из макрофитов – на >70%. В данном ряду увеличивается содержание органического вещества и уменьшается средний диаметр частиц.

Формирование и распределение грунтового комплекса зависит от структуры рельефа дна. Связь физико-химических параметров ДО с глубиной в поверхностных водах Вьетнама прослеживается слабо. Причиной отсутствия такой связи может быть, прежде всего, муссонный климат, приводящий к изменениям уровня режима, зависящего от водности влажного и сухого периодов, а также недостаточное количество проб ДО, отобранных из водотоков и водоемов в разные сезоны.

Корреляционный анализ подтверждает наличие четко выраженных связей физико-химических характеристик типов ДО как между собой, так и с отдельными фракциями гранулометрического состава, за исключением промежуточных (табл. 2). Для практического использования в дальнейших исследованиях наиболее важны связи естественной влажности и объемной массы с органическим веществом, а также последних между собой, так как позволяют быстро рассчитать некоторые характеристики ДО, исходя из аналитического определения только одного показателя (рис. 4).

## ВЫВОДЫ

В результате исследования выявлены физико-химические свойства ДО поверхностных вод Центрального и Южного Вьетнама на примере рек, прудов, бывших карьеров, водохранилищ и озер. Зависимости, установленные между отдельными характеристиками ДО в исследованных водоемах на территории с тропическим муссонным климатом, сходны с таковыми для хорошо изученной системы водохранилищ Волжского каскада, расположенного в гумидно-аридной зоне. Полученные данные подтверж-

**Таблица 2.** Корреляционная матрица физико-химических характеристик ДО поверхностных вод Центрального и Южного Вьетнама ( $p < 0.05$ ,  $n = 67$ ;  $V$  – скорость течения, м/с;  $W$  – естественная влажность, %;  $OB$  – органическое вещество;  $Md$  – средний диаметр, мм;  $M$  – объемная масса (сухая), г/см<sup>3</sup>; жирный шрифт – значимые коэффициенты корреляции)

Характеристика	$V$	Тип грунта	$W$	$OB$	Диаметр частиц, мм						$Md$	$M$
					>1.0	1.0–0.5	0.5–0.1	0.1–0.05	0.05–0.01	<0.01		
$V$	1.00	<b>-0.86</b>	<b>-0.55</b>	<b>-0.45</b>	<b>0.73</b>	<b>0.44</b>	0.10	<b>-0.30</b>	<b>-0.65</b>	<b>-0.48</b>	<b>0.83</b>	0.60
Тип грунта	<b>-0.86</b>	1.0	<b>0.57</b>	<b>0.54</b>	<b>-0.57</b>	<b>-0.46</b>	-0.22	0.23	<b>0.70</b>	<b>0.49</b>	<b>-0.74</b>	<b>-0.61</b>
$W$	<b>-0.55</b>	<b>0.57</b>	1.00	<b>0.86</b>	<b>-0.37</b>	<b>-0.43</b>	0.02	0.27	0.29	<b>0.28</b>	<b>-0.46</b>	<b>-0.98</b>
$OB$	<b>-0.45</b>	<b>0.54</b>	<b>0.86</b>	1.00	-0.19	<b>-0.38</b>	-0.06	0.16	0.26	<b>0.26</b>	<b>-0.35</b>	<b>-0.82</b>
Диаметр частиц, мм >1.0	<b>0.73</b>	<b>-0.57</b>	<b>-0.37</b>	-0.19	1.00	-0.04	<b>-0.35</b>	-0.15	-0.26	-0.22	<b>0.76</b>	<b>0.41</b>
1.0–0.5	<b>0.44</b>	<b>-0.46</b>	<b>-0.43</b>	<b>-0.38</b>	-0.04	1.00	0.19	<b>-0.39</b>	<b>-0.42</b>	<b>-0.34</b>	<b>0.35</b>	<b>0.46</b>
0.5–0.1	0.10	-0.22	0.02	-0.06	<b>-0.35</b>	0.19	1.00	-0.19	<b>-0.75</b>	<b>-0.51</b>	0.06	0.04
0.1–0.05	<b>-0.30</b>	0.23	<b>0.27</b>	0.16	-0.15	<b>-0.39</b>	-0.19	1.00	0.20	0.02	-0.22	<b>-0.29</b>
0.05–0.01	<b>-0.65</b>	<b>0.70</b>	<b>0.29</b>	0.26	-0.26	<b>-0.42</b>	<b>-0.75</b>	0.20	1.00	<b>0.63</b>	<b>-0.60</b>	<b>-0.38</b>
<0.01	<b>-0.48</b>	<b>0.49</b>	<b>0.28</b>	0.26	-0.22	<b>-0.34</b>	<b>-0.51</b>	0.02	<b>0.63</b>	1.00	<b>-0.54</b>	<b>-0.34</b>
$Md$	0.83	<b>-0.74</b>	<b>-0.46</b>	<b>-0.35</b>	<b>0.76</b>	<b>0.35</b>	0.06	-0.22	<b>-0.60</b>	<b>-0.54</b>	1.00	<b>0.53</b>
$M$	<b>0.60</b>	<b>-0.61</b>	<b>-0.98</b>	<b>-0.82</b>	<b>0.41</b>	<b>0.46</b>	0.04	-0.29	<b>-0.38</b>	<b>-0.34</b>	<b>0.53</b>	1.00

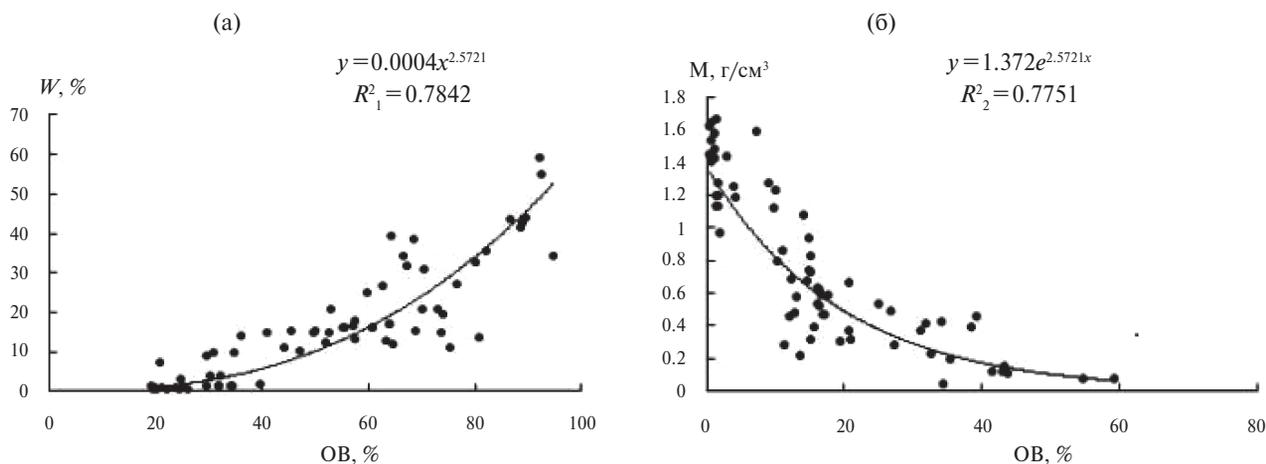


Рис. 4. Связи естественной влажности (а) и объемной массы (б) с органическим веществом.

дают, что в различных климатических зонах формирование и накопление ДО как в водотоках, так и в водоемах замедленного водообмена (озерах, карьерах, прудах, водохранилищах) и их орографических районах происходит по единым физическим законам.

Информация по физико-химическим характеристикам ДО — исходная для выявления их функциональных связей с гидробиологическими параметрами и трофическим состоянием исследуемых объектов.

Материалы исследования — основа для разработки практических рекомендаций по снижению негативного влияния на экосистемы водоемов дноуглубительных работ, спрямления русел, добычи строительных материалов и полезных ископаемых, прокладки газовых и нефтяных магистралей, линий кабельных электропередач, строительства автомобильных и железнодорожных мостов, а также по проведению мероприятий по восстановлению нарушенных местообитаний гидробионтов (рекультивация отработанных карьеров, создание обвалованных водоемов — нерестово-выростных хозяйств) — могут быть учтены в проектах будущих больших и малых водохранилищ, при выборе мест водозаборов и рекреации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопичев Б.А.* Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 289 с.
2. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
3. *Буторин Н.В., Зиминова Н.А., Курдин В.П.* Донные отложения верхневолжских водохранилищ. Л.: Наука, 1975. 160 с.
4. *Гордеев В.В.* Речной сток в океан и черты его геохимии. М.: Наука, 1983. 159 с.
5. *Законнов В.В.* Осадкообразование в водохранилищах Волжского каскада: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. М.: ИГРАН, 2007. 39 с.
6. *Законнов В.В., Законнова А.В.* Географическая зональность осадконакопления в системе водохранилищ Волги // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 2. С. 105–111.
7. *Законнов В.В., Поддубный С.А., Законнова А.В., Касьянова В.В.* Осадкообразование в зонах переменного подпора водохранилищ Волжского каскада // Вод. ресурсы. 2010. Т. 37. № 4. С. 425–433.
8. *Зворыкин Д.Д., Гусаков В.А.* География, климат и водные ресурсы Вьетнама // Экология внутренних вод Вьетнама. М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2014. С. 9–14.
9. *Ле Конг Чинь, Некрасова М.А., Болгов М.В.* Оценка воздействия водопользования на мангровые леса в бассейне реки Донгнай // Вод. хоз-во России. 2015. № 3. С. 89–96.
10. *Лисицын А.П.* Осадкообразование в океанах. М.: Наука, 1974. 170 с.
11. *Лисицын А.П.* Потоки вещества и энергии во внешних и внутренних сферах Земли // Глобальные изменения природной среды-2001. Новосибирск: СОРАН, фил. "ГЕО", 2001. С.163–248.
12. *Новиков Б.И.* Донные отложения днепровских водохранилищ. Киев: Наук. думка, 1985. 169 с.
13. *Рухин Л.Б.* Основные понятия о статистической обработке фактических данных // Методы изучения осадочных пород. М.: Госгеолтех-издат, 1957. С. 443–458.

14. Сигарева Л.Е., Тимофеева Н.А. Некоторые подходы к использованию свойств литоральных отложений для изучения продуктивности микрофитобентоса // Биология внутр. вод. 2004. № 3. С. 52–59.
15. Свальнов В.Н., Алексеева Т.Н. Гранулометрический состав осадков мирового океана. М.: Наука, 2005. 297 с.
16. Химия океана // Геохимия донных осадков. М.: Наука, 1979. 536 с.
17. *Cibbs R.* Mechanisms controlling world water chemistry. *Sci.* 1970. V. 170. № 3962. P. 1088–1090.
18. *Cibbs R.* Mechanisms of trace metal transport in rivers // *Ibid.* 1973. V. 180. № 4081. P. 70–73.
19. *Loi Le, Muller Dr.* Effect hydrology on mangrove ecosystems: effect of hydrology on the structure and function of mangrove ecosystems in the Can Gio mangrove biosphere reserve, Vietnam, Sanbrücken: VDM. Verlag, Dr. Müller, 2010. P. 199–208.
20. *Martin J.M., Meybeck M.* Elemental mass-balance of material carried by major world rivers // *Mar. Chem.* 1979. V. 7. № 2. P. 173–206.

## PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF BOTTOM SEDIMENTS IN SURFACE WATERS OF CENTRAL AND SOUTH VIETNAM

V. V. Zakonnov<sup>1,\*</sup>, V. A. Gusakov<sup>1</sup>, L. E. Sigareva<sup>1</sup>, N. A. Timofeeva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences,  
Borok, Yaroslavl oblast, 152742 Russia*

\*E-mail: zak@ibiw.yaroslavl.ru

Received: 05.05.2016

Received version received: 17.07.2016

Accepted: 06.10.2016

In this study, physical and chemical characteristics of bottom sediments in inland waters of Central and Southern Vietnam were investigated, initially according to granulometric compositions, organic matter contents, bulk densities, and natural moisture contents. The main types of sediments in rivers, lakes, reservoirs, former quarries, and ponds were then identified, and similarities between of physical and chemical properties were identified between bottom sediments from water bodies of Vietnam and those from the Volga cascade reservoirs. Moreover, we show common dependencies in the formation of bottom sediments in reservoirs from humid, arid, and tropical monsoon climates.

**Key words:** bottom sediments, domestic water, physical and chemical properties, Vietnam.

**DOI:** 10.31857/S0321-059646182-90